



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

“DISEÑO Y CÁLCULO DE CHIMENEAS PARA CALDERAS DE CALEFACCIÓN”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Patrocinante:
Sr. Carlos Vergara Muñoz
Ingeniero Civil Mecánico,
Magíster en Economía y Gestión Regional.

HUGOBERTO HERNÁN VELÁSQUEZ JOFRÉ
VALDIVIA - CHILE
2007

DEDICATORIA

A mis padres, hermanas y primo por su esfuerzo, apoyo y paciencia, elementos fundamentales en el término de esta importante etapa. Les dedico este logro.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores universitarios les agradezco su entrega y conocimientos, especialmente a mi profesor guía por su dedicación y apoyo para concretar esta investigación. A mis amigos, gracias por su amistad y especial comprensión durante esta etapa.

INDICE

RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	4
CAPITULO I: DEFINICIÓN Y PROCESO DE COMBUSTIÓN	5
1.1.- DEFINICIÓN DE LA CHIMENEA.....	5
1.2.- PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	5
1.2.1.- Materiales combustibles.....	6
1.2.2.- Poder calorífico, poder de combustión.....	9
1.2.3.- Contenido de agua.....	10
1.2.4.- Cantidad de aire para la combustión.....	10
1.2.5.- Gases de escape.....	11
1.2.6.- Gases secos	12
1.2.7.- Eficacia de la combustión.....	13
CAPITULO II: RESISTENCIA AL FLUJO DE GASES EN LA CHIMENEA.....	14
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	14
2.2.- PÉRDIDAS EN LA CORRIENTE DE GASES.....	15
2.3.- ENFRIAMIENTO DE LOS GASES.....	16
2.4.- RESISTENCIA OPUESTAS A LA CIRCULACIÓN DE LOS GASES.....	19
2.4.1.-Resistencias Aisladas o de Singularidades.....	19
2.4.2.- Resistencias Regulares o de Rozamiento.....	20
CAPITULO III: EJECUCIÓN DE UNA CHIMENEA.....	21
3.1.- EJECUCIÓN DE UNA CHIMENEA.....	21
3.1.1.- Determinación del Calor de Calefacción.....	23
3.1.2.- Altura de la Chimenea.....	24

3.1.3.- Sección de la chimenea.....	27
3.1.4.- Paredes de la chimenea.....	28
3.1.5.- Protección térmica.....	29
3.1.6.- Resistencia al fuego y al calor.....	32
3.1.7.- Estanqueidad a los gases.....	33
CAPITULO IV: CONSTRUCCION, TIPOS DE CHIMENEAS Y TIRO.....	35
4.1.- CONSTRUCCIÓN.....	35
4.2.- SISTEMAS DE CHIMENEAS.....	39
4.2.1.- Chimeneas de obra de fábrica.....	41
4.2.2.- Chimeneas de una hoja, de piezas prefabricadas.....	43
4.2.3.- Chimeneas de varias hojas, de piezas prefabricadas.....	45
4.2.4.- Chimeneas de varias hojas resistentes a la humedad.....	48
4.2.5.-Chimeneas aisladas.....	51
4.3.- CABEZAS DE LA CHIMENEA.....	52
4.4.- CONDUCTOS HORIZONTALES DE EXTRACCIÓN DE HUMOS.....	54
4.5.- PRODUCCIÓN DE TIRO.....	56
CAPITULO V: ASPECTOS CONSTRUCTIVOS, DISEÑO Y MONTAJE.....	58
5.1.- SÍMBOLOS, DEFINICIONES Y UNIDADES DE MEDIDA.....	58
5.2.- GENERALIDADES.....	59
5.3.- DATOS DE PROYECTO.....	60
5.4.- CAUDAL DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.....	61
5.5.- TEMPERATURAS DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.....	63
5.6.- COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR.....	63
5.6.1- Coeficiente superficial interior h_i	64
5.6.2.- Resistencia térmica de la pared R	65
5.6.3.- Coeficiente superficial exterior h_x	65
5.6.4.- Coeficiente β	66

5.6.5.- Diámetros hidráulicos.....	66
5.7.- CAÍDAS DE PRESIÓN POR RESISTENCIA AL MOVIMIENTO.....	67
5.8.- TIRO TÉRMICO.....	69
5.9.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	69
5.9.1.- Cálculo de la sección transversal.....	69
5.9.1.1.- Generalidades.....	69
5.9.1.2.- Tramo horizontal (enlace generador-tramo vertical).....	70
5.9.1.3.- Tramo vertical.....	73
5.9.1.4.- Comprobaciones finales.....	74
5.9.2.- Comprobación de sección de chimenea existente.....	75
5.10.- CONDENSACIONES.....	76
5.11.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	76
5.12.- TIRO FORZADO.....	77
5.13.- DISEÑO.....	78
5.13.1.- Tramo Horizontal o Inclinado.....	78
5.13.2.-Tramo Vertical.....	78
5.13.3.- Boca de Salida.....	79
5.13.4.- Elementos Accesorios.....	79
5.13.5.- Sección Transversal.....	80
5.14.- MATERIALES.....	81
5.15.- AISLAMIENTO TÉRMICO.....	81
5.16.- MONTAJE.....	82
CAPITULO VI: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA CHIMENEA.....	96
6.1.- CÁLCULO SECCIÓN TRANSVERSAL.....	96
6.2.- CÁLCULO TRAMO HORIZONTAL (ENLACE GENERADOR-TRAMO VERTICAL).....	99
6.3.- CÁLCULO DEL TRAMO VERTICAL.....	106

6.4.- VERIFICACIONES DEL CÁLCULO DE DISEÑO.....	113
6.4.1.- Comprobación de la depresión en la base de la chimenea.....	113
6.4.2.- Comprobación de la velocidad media.....	113
6.4.3.- Comprobación de la esbeltez de la chimenea.....	114
6.4.4.- Comprobación de sección de chimenea existente.....	114
6.4.5.- Condensaciones.....	114
6.5.-PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	115
6.5.1.-Tramo horizontal.....	115
6.5.2.-Tramo vertical.....	115
6.6.- DETALLES DE LA CHIMENEA DISEÑADA.....	116
6.6.1.-DETALLES DEL DISEÑO DE CHIMENEA CALCULADA.....	117
6.6.1.2-Tramo horizontal.....	117
6.6.1.3.-Tramo vertical.....	117
CONCLUSIONES.....	119
BIBLIOGRAFIA.....	120
ANEXO A. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.....	87
ANEXO B. DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE CALOR.....	88
ANEXO C. COEFICIENTES ξ DE PERDIDA LOCALIZADA.....	91
ANEXO D. TEMPERATURAS DEL AIRE EXTERIOR.....	95

INDICE DE TABLAS

Tabla nº 1: Poder calorífico superior (poder de combustión) H_s y poder calorífico inferior H_i del gas y del fuel-oil.....	9
Tabla nº 2 Resistencias aisladas de los conductos de aire y de gases.....	20
Tabla nº 3: Necesidad calorífica de los edificios.....	23
Tabla nº 4: Intensidades de tiro necesarias para instalaciones.....	57
Tabla nº 5: Coeficiente de forma de sección.....	65
Tabla nº 6: Coeficiente β	65

INDICE DE FIGURAS

Figura nº 1: Acción del viento sobre el tipo de las chimeneas.....	26
Figura nº 2: Cubierta Plana; Cubierta Inclínada < 20°; Cubierta Inclínada >20°.....	27
Figura nº 3: Ubicación de una chimenea en un edificio con techo inclínado.....	39
Figura nº 4: Solicitaciones estructurales horizontales y verticales.....	41
Figura nº 5: Antiguos aparejos de chimeneas.....	43
Figura nº 6: chimenea de una hoja de pieza prefabricada.....	44
Figura nº 7: Chimenea de una hoja de una planta de altura. Piezas prefabricadas de hormigón especial.....	45
Figura nº 8: Chimeneas de varios conductos.....	47
Figura nº 9: Chimenea resistente a la humedad.....	50
Figura nº 10: Chimenea de pared doble de acero inoxidable, piezas prefabricadas roscadas a prueba de gases.....	52
Figura nº 11: Esquema de un conducto de humos.....	83
Figura nº 12: representación esquemática del régimen de presiones en un sistema de evacuación con tiro natural.....	84
Figura nº 13: Representación esquemática del régimen de presiones en un sistema de evacuación con tiro forzado.....	85
Figura nº 14: Distancia mínima desde la boca de la chimenea hasta un obstáculo...	86
Figura nº 15: Detalles de chimenea diseñada.....	116

RESUMEN

En la siguiente tesis se presentan los principales aspectos constructivos y de cálculo térmico de chimeneas para calderas de calefacción de tamaño medio. Se selecciona un procedimiento de cálculo y se muestra su aplicación en un caso específico.

SUMMARY

In the following thesis the main constructive aspects and of thermal calculation of chimneys for boilers of means heating appear so large. A calculation procedure is selected and is its application in a specific case.

INTRODUCCIÓN

En muchos proyectos de calefacción no vienen incluidas las especificaciones técnicas del cálculo y diseño de la chimenea de caldera. Esto es debido a que no existen normativas chilenas sobre el particular y con frecuencia la elaboración e instalación de ella se lleva a cabo de acuerdo a lo que proponga el fabricante, proveedor o instalador de las calderas, muchas veces basado sólo en sus experiencias laborales, especialmente en el caso de las calderas a leña.

Es por ello que esta tesis quiere establecer un procedimiento de cálculo de las chimeneas para la efectiva evacuación al exterior de los gases producidos por la combustión de los generadores de calor, así como los criterios de diseño del sistema.

La tesis en cuestión es aplicable a generadores de calor empleados en los sistemas de climatización de centrales térmicas de potencia superior a 10KW.

En la presente se estudia los distintos tipos constructivos de chimeneas, tanto en sus concepciones generales (forma, materiales) como en la ingeniería de detalle de ellas, y de su conexión a la caldera.

OBJETIVOS

El objetivo de la presente tesis es proponer, o seleccionar si corresponde, un procedimiento de cálculo térmico para chimeneas de calderas para calefacción, de capacidad hasta 300.000 kcal/hora. Indicando además otros principales elementos de diseño de ellas.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

En primer lugar se describen aspectos teóricos relativos al proceso de combustión y resistencia al flujo de gases en chimeneas.

A continuación se detallan aspectos constructivos generales, para luego seleccionar un procedimiento de cálculo térmico.

Finalmente se efectúa la aplicación del procedimiento para evaluar su viabilidad de aplicación.

CAPITULO I

DEFINICIÓN Y PROCESO DE COMBUSTIÓN

1.1.- DEFINICIÓN DE LA CHIMENEA

Con el nombre de chimenea se designa cualquier clase de tubo o hueco destinado a conducir los gases de la combustión de los hogares hacia arriba, dándoles salida al exterior por encima de cubiertas y tejados. En las casas de viviendas y demás construcciones urbanas suelen construirse interiormente, salvo escasas excepciones; en la industria, en cambio, generalmente se construyen aisladas y al exterior. Según sean los gases de la combustión, se distinguen las chimeneas para humos y las chimeneas para escapes de gases. Las chimeneas para humos sirven para lanzar hacia arriba los productos de la combustión de materias sólidas y líquidas combustibles, como leña, la turba, el lignito, la hulla, el coque, y los aceites combustibles, mientras que las chimeneas de escape o salida de gases sirven para expulsar al exterior los gases residuales de los combustibles gaseosos quemados. Las conducciones de ventilación no son verdaderas chimeneas, aún cuando la misión que desempeñan es parecida.

1.2.- PROCESO DE COMBUSTIÓN

La misión de una chimenea resulta del proceso de combustión dentro de la instalación de calefacción y de las características de combustión de los materiales combustibles.

Una instalación de combustión sólo puede funcionar segura y económicamente cuando su chimenea y su hogar están debidamente proporcionados entre sí. El hogar mejor estudiado puede desperdiciar sus ventajas si la chimenea es insuficiente o inadecuada. Es condición precisa, para lograr una perfecta construcción y unas adecuadas dimensiones en una chimenea, el

conocimiento de los requisitos que la instalación debe cumplir y las condiciones de su funcionamiento.

La elección del sistema de calefacción depende del material combustible disponible y del tipo de funcionamiento deseado. El tamaño del hogar de un local se rige por la emisión media de calor por metro cuadrado de superficie a calentar, en función de las necesidades térmicas de cada caso. Según DIN 4701 la emisión de calor se halla mediante la pérdida de calor que se produce por los elementos constructivos que incluyen el local, es decir, por sus dimensiones, su capacidad de aislamiento térmico y la hermetización de juntas de sus aberturas.

Cuanto mas pequeño sea un edificio o cuanto mas alto sean los costos de energía, tanto más deben considerarse minuciosamente las relaciones económicas entre la calefacción y el aislamiento térmico. La necesidad específica del calor no debería sobrepasar en las casas de viviendas de 523,3 KJ/hm² de superficie habitada. Un aislamiento térmico mejorado (respecto a las exigencias mínimas de la DIN 4108) compensará con el tiempo más que suficientemente los elevados costos de construcción, debido a los ahorros que proporciona la instalación y los reducidos costos de funcionamiento.

1.2.1.- MATERIALES COMBUSTIBLES

Como materiales combustibles sólo pueden considerarse aquellos elementos cuya combustión se efectúa constantemente, es decir, sin que se produzcan explosiones o gases venenosos. Distinguimos entre los materiales combustibles naturales como leña, turba, lignito, hulla y gas natural, y los materiales elaborados como briquetas, coque, fuel-oil, y gas ciudad. También podemos hacer la división en materiales sólidos, líquidos, y gaseosos. Consideramos como:

- materiales sólidos: leña, turba, lignito, hulla, carbón vegetal tratado, briquetas y coque;

- materiales líquidos: fuel-oil S (pesado), L (ligero), EL (extra ligero);
- materiales gaseosos: gas natural y gas ciudad.

La valoración económica de un combustible puede realizarse en base a los siguientes criterios:

- poder calorífico (energía desprendida) respecto al poder de combustión;
- precio;
- comportamiento medioambiental de la instalación (por ejemplo extracción de cenizas, mantenimiento);
- costos adimensionales de la instalación de calefacción para un combustible específico (por ejemplo, tanque de fuel-oil respecto de una calefacción de gas natural);
- espacio ocupado por la instalación de calefacción;
- dependencia del suministro de combustible (POEC “programa de orientación para equipamientos comerciales”, suministradores de gas natural).

Para las instalaciones de calefacción de nueva construcción es un aspecto primordial el mantener el aire limpio. Las autoridades competentes ya limitan considerablemente la elección del combustible mediante normas y directrices sobre el funcionamiento de las instalaciones de calefacción.

En el caso de los combustibles gaseosos, como el gas natural y el gas de ciudad, los componentes combustibles constan en su mayor parte de hidrocarburos de distintas estructuraciones y de hidrógeno. Las reacciones químicas que se producen cuando la combustión es completa son las siguientes:

- El carbono se combina con el oxígeno del aire para formar anhídrido carbónico: $C + O_2 = CO_2$
- El hidrógeno se combina con el oxígeno del aire para formar vapor de agua: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

- El azufre, a su vez, se combina con el oxígeno del aire y forma anhídrido sulfuroso: $S + O_2 = SO_2$

Cuando la combustión del carbono es incompleta se produce, en cambio, óxido (monóxido) de carbono: $2C + O_2 = CO$

El óxido de carbono puede arder, formándose, como producto de su combustión, dióxido de carbono: $2CO + O_2 = 2CO_2$

De los hidrocarburos (producto de la destilación del carbón) se forma, cuando la combustión es completa, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O) mientras que si es incompleta, se producen, según las circunstancias, óxido de carbono (CO), hollín (C) e hidrógeno libre (H_2), así como alquitranes. El monóxido de carbono que no ha podido arder formando dióxido significa una alta pérdida de calor, ya que al convertirse 1Kg. de C en CO se producen aproximadamente 10,46 MJ, y la transformación de 1Kg. de C en CO_2 produce aproximadamente 33,48MJ. (Heinrich – Schmitt, 1998).

Una combustión incompleta se produce por falta de oxígeno, su insuficiente mezcla con el material- combustible o bien por temperaturas demasiado bajas en el hogar.

A base de estas fórmulas, cuando se conoce la composición química de los combustibles, es posible determinar el poder calorífico, la cantidad específicas de gases y humos y la cantidad de oxígeno necesaria.

1.2.2.- PODER CALORÍFICO, PODER DE COMBUSTIÓN

El poder de combustión es la cantidad de calor que se libera durante la combustión completa, sin pérdidas, de un combustible.

Se distingue entre el límite superior y el límite inferior del poder calorífico (poder de combustión). La diferencia radica en que en el límite superior del poder calorífico se cuenta el calor de evaporación de agua contenida en los humos de

salida, mientras que en el límite inferior no se tiene en cuenta. Por consiguiente, el límite superior del poder calorífico es mayor al límite inferior en el porcentaje de este calor de evaporación. Como con los métodos de cálculo y las instalaciones de combustión existentes hasta ahora es muy difícil de averiguar este porcentaje, casi siempre se empleaba el límite inferior del poder calorífico. El creciente aprovechamiento de la energía y el perfeccionamiento de los métodos de cálculo, así como de las instalaciones, ha comportado un empleo, cada vez mayor, del límite superior del poder calorífico.

En el proceso físico-químico de la combustión se produce una reacción de los componentes del combustible con el oxígeno del aire (oxidación), durante el cual se libera calor.

La instalación de combustible ha de garantizar una combustión lo mas completa posible de los gases de combustión, para que la energía contenida en el combustible se aproveche al máximo.

Si la combustión es incompleta, además de obtener menos energía, aumenta la proporción de productos perjudiciales en los gases de escape, ya que los componentes no quemados, del combustible se liberan a la atmósfera.

Es tarea de la instalación de calefacción y combustión, aprovechar la mayor cantidad posible del calor generado y sólo dejar pasar a la chimenea el mínimo calor necesario para asegurar una circulación correcta de los gases.

	Gas Ciudad	Gas Natural (l)	Gas Natural (h)	Fuel-oil (l)
Poder calorífico superior (poder de combustión) H_s kWh/m ³ o kWh/l	5,48	9,78	11,46	10,59
Poder calorífico inferior (poder de combustión) H_i kWh/m ³ o kWh/l	4,87	8,83	10,35	9,96
Relación H_s / H_i	1,13	1,11	1,11	1,06

Tabla nº 1: Poder calorífico superior (poder de combustión) H_s y poder calorífico inferior H_i del gas y del fuel-oil. l = liviano; h= pesado

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

1.2.3.- CONTENIDO DE AGUA

En parte se halla en forma de humedad higroscópica o específica, y en parte en forma de humedad sensible o externa; al aumentar su contenido reduce progresivamente la combustibilidad y el poder calorífico. El calor necesario para la evaporación del agua tiene que ser suministrado por los elementos combustibles. El vapor de agua producido viene a incrementar el que contiene el humo y con ello el peligro de condensaciones en los conductos de humos, punto de partida de la mayor parte de los daños en las instalaciones. Por ejemplo, el anhídrido sulfuroso que se produce por la combustión del azufre puede formar con el agua de las condensaciones ácido sulfúrico, cuya acción sobre los materiales empleados en la construcción del hogar y de la chimenea los va destruyendo progresivamente. Causas de esta destrucción: la conversión de la cal contenida en el mortero y en los materiales pétreos en yeso (pasando de carbonato cálcico a sulfato cálcico); el aumento de volumen que esta reacción trae consigo produce la expansión y desmoronamiento del material. (Heinrich – Schmitt, 1998).

Si no se produce ninguna condensación y los gases se conservan secos son inofensivos para la chimenea.

1.2.4.- CANTIDAD DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN

El oxígeno necesario para la combustión se aporta mediante el aire de combustión. La cantidad de aire teóricamente necesaria para una combustión completa depende del estado del aire, del combustible empleado y de su estado de agregación. En la práctica, sin embargo, para conseguir una combustión completa se aporta una cantidad de aire superior al valor teórico. La relación entre la cantidad de aire aportada y la cantidad teóricamente necesaria se denomina coeficiente de relación de aire λ .

En el caso de los combustibles líquidos la combustión ya es más favorable por el propio estado de agregación, de manera que puede reducirse el exceso de aire.

El gas puede mezclarse casi con exactitud teórica con el oxígeno necesario, de manera que en estas instalaciones de combustión sólo es necesario un escaso exceso de aire por motivos higiénicos.

La madera, por ejemplo, ni se suministra en piezas de igual tamaño, ni se puede apilar con la necesaria regularidad para que en la cámara de combustión llegue el aire por igual a todas las piezas. La caída de la capa de combustión también influye en el proceso de combustión. En el caso del carbón y el coque el proceso de combustión transcurre con mayor regularidad y racionalidad, por que estos combustibles se suministran con un tamaño casi idéntico.

1.2.5.- GASES DE ESCAPE

En una combustión completa los gases de escape de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos están formados por vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2).

En la atmósfera, los gases de escape no sólo significan una contaminación atmosférica, sino también una reducción de la radiación solar. Los gases de escape no sólo perjudican a personas, animales y plantas, sino también a los metales, piedras y materiales de construcción que contienen cal, cuando contienen ácidos sulfúricos, (producidos por los combustibles que contienen azufre).

1.2.6.- GASES SECOS

Cuando la combustión es completa sólo aparecen el dióxido de carbono y el dióxido de azufre como gases secos. La presencia de monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos siempre se debe a una combustión incompleta y significa una pérdida de calor. Además, la presencia de hidrocarburos en los gases de

combustión es la causa de explosiones e incendios en las chimeneas por obstrucción de los tiros de humo.

El vapor de agua se forma, en parte, por la combustión de hidrógeno y, en parte, por la evaporación de agua que contiene el combustible. Tan pronto como los gases de combustión se enfrían por debajo del punto de rocío en su camino por la chimenea, el vapor de agua se condensa en las superficies interiores de la chimenea ocasionando los temidos daños. El punto de rocío varía según el tipo del humo, o sea según el tipo de combustible.

El punto de rocío de los gases de combustión de los siguientes combustibles es:

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| - madera y turba | aproximadamente 333K (60°C) |
| - fuel-oil | aproximadamente 323K (50°C) |
| - briquetas de lignito | aproximadamente 318K (45°C) |
| - hulla | aproximadamente 313K (40°C) |
| - coque de gas y de fragua | aproximadamente 291K (18°C). |

(Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.)

El aire contenido en los gases de combustión corresponde, en chimeneas estancas al gas, al exceso de aire que entra con la combustión.

El aire que tras la combustión llega hasta el humo a causa de la existencia de puntos no estancos, o a cierta permeabilidad a los gases en su camino por la chimenea, se denomina “aire falso”. No sólo aumenta la cantidad de humo, sino que disminuye su temperatura y con ello el tiraje.

1.2.7.- EFICACIA DE LA COMBUSTIÓN

La construcción de las cámaras de combustión de estufas y calderas para combustibles sólidos se ha mejorado considerablemente en los últimos años. También es importante el tamaño de la instalación de calefacción y la forma de

funcionamiento, por ejemplo, manejo individual de estufas o pequeñas instalaciones de calefacción central frente al manejo automatizado de las grandes instalaciones de calefacción.

En la práctica, a la cantidad teóricamente necesaria de aire se le añaden los siguientes suplementos (Heinrich – Schmitt, 1998):

- en estufas individuales, tanto si funcionan con leña, fuel-oil o gas, un suplemento de: aproximadamente 100%.
- En pequeñas calefacciones centrales que funcionan con carbón y coque: aproximadamente 50%.
- En pequeñas calefacciones de fuel-oil: aproximadamente 40%.
- En pequeñas calefacciones de gas: aproximadamente 40%.

En las grandes instalaciones de calefacción, que en la actualidad funcionan casi exclusivamente con fuel-oil o gas, se reduce el suplemento de aire para mejorar el tiro al 20 – 10 %, en casos extremos incluso 5 %.

Como la cantidad de aire apenas varía si el combustible es coque, fuel-oil o gas se puede transformar una instalación para utilizar fuel-oil o gas en vez de un combustible sólido, sin hacer peligrar la seguridad de funcionamiento.

El poder calorífico y la cantidad de oxígeno y aire necesarios varían respecto al combustible en función del comportamiento de los componentes combustibles. Además de los componentes minerales incombustibles y los restos, en el caso de combustión incompleta, que quedan en forma de cenizas o escorias, son incombustibles sobre todo el agua, el exceso de oxígeno y las pequeñas cantidades de nitrógeno.

CAPITULO II

RESISTENCIA AL FLUJO DE GASES EN LA CHIMENENA

2.1.- INTRODUCCIÓN

El tiro natural de una chimenea, también denominado Depresión Estática, es la depresión que se origina en su base, como consecuencia de la diferencia de presiones creadas por los gases contenidos en ella y la columna de aire exterior de la misma altura que la chimenea.

El tiro disponible (T_d), es la diferencia entre el tiro natural (T_n), creado por la chimenea y las pérdidas de carga (ΔP) que se producen en el derrame de los humos por el interior del conjunto del sistema de evacuación de los productos de combustión. (Ricardo García, 2006)

Tiro artificial es el creado por elementos mecánicos que se diseñan en cada caso de manera adecuada a las necesidades, por ello no dependen tan directamente de las temperaturas exteriores o de humos, ni de las circunstancias de presión atmosférica y humedad ambiente.

El método de cálculo es idéntico al de chimenea con tiro natural, pero teniendo en cuenta que una diferencia negativa entre el tiro creado por la chimenea y las pérdidas de carga total es compensado por la creación de un tiro adicional por sistemas mecánicos (ventiladores, extractores, etc.), esto permite tener chimeneas con secciones interiores mas pequeñas (para la misma potencia), que en el caso de chimeneas de tiro natural. (Ricardo García, 2006)

Respecto de las chimeneas instaladas en calderas sin tiro mecánico, el proceso es el siguiente:

Se produce una corriente gaseosa siempre que en dos puntos ubicados a la misma altura, uno al interior de la chimenea y el otro en el medio ambiente, exista una diferencia de presión, que al tratar de nivelarse, ocasiona un movimiento de los gases. Por esta razón, la velocidad de corriente depende de la magnitud de dicha

diferencia de presiones, que varía con la velocidad de la misma. El caudal de gases que evacua la chimenea es el producto de esta velocidad por su sección.

En la chimenea, la circulación de los gases se produce por la depresión debida, en los casos normales, al tiro de los gases del humo y, eventualmente, también a la acción del viento; en casos excepcionales se produce artificialmente por medio de ventiladores o máquinas soplantes.

Si la chimenea es suficientemente hermética y el aire puede entrar a través de las instalaciones reguladas del hogar, este aire es el que alimenta con su oxígeno el proceso de la combustión.

Según el principio de Arquímedes, la columna gaseosa experimenta en la chimenea un empuje hacia arriba igual al peso del aire desalojado. Como todos los gases tiene la propiedad de dilatarse al crecer la temperatura o disminuir la presión, haciéndose específicamente más ligeros, según sea la diferencia de temperaturas entre los gases del humo y el aire exterior pueden producirse en la chimenea diferentes proceso de circulación o de corrientes de los gases. Si el aire exterior y los gases del humo tienen igual peso específico, no se produce desplazamiento alguno. Si el humo tiene mayor densidad que el aire, descenderá por la chimenea, atravesará el hogar e invadirá el local.

La diferencia de presión que se produce crece al aumentar la altura de la columna gaseosa y al crecer la diferencia entre los pesos específicos (diferencia de temperatura) entre el aire exterior y los gases. La altura eficaz de la columna gaseosa se calcula desde la parrilla del hogar hasta la desembocadura de la chimenea, aun cuando los gases del humo pueden seguir subiendo una vez fuera de la chimenea.

2.2.- PÉRDIDAS EN LA CORRIENTE DE GASES

La depresión que reina al pie de la columna de humo, desgraciadamente, no puede aprovecharse en su altura total como presión dinámica para producir

velocidad de circulación del mismo, ya que una parte importante de la misma se pierde como presión estática a causa del rozamiento y otras resistencias opuestas a la circulación. No solamente la depresión va disminuyendo a medida que los gases suben por la chimenea, aun cuando se mantuviesen constante la temperatura de los mismos, sino que el humo va enfriándose al subir y se vuelve, por consiguiente, mas pesado (y mas lento), sin contar que, además se encuentra con resistencias que retardan su circulación. La altura de la presión dinámica (altura de velocidad) se obtiene restando de la altura de la depresión efectiva, las alturas correspondientes a las pérdidas debidas a las resistencias ofrecidas a la corriente de gases y a la resistencia en el hogar. A base de la presión dinámica restante se puede determinar la velocidad de corriente de gases que, junto con la sección, determina la capacidad efectiva de tiro de la chimenea. (Heinrich – Schmitt, 1998).

Comparando esa capacidad efectiva de tiro con la capacidad aparente que seria teóricamente posible si se dispusiera de la depresión total, se obtendrá el grado de rendimiento o de eficacia de la chimenea, que caracteriza el valor de la instalación tanto desde el punto de vista térmico como en el aspecto técnico de la circulación de los gases. Aumenta al reducirse las pérdidas de presión y depende, por consiguiente, de la construcción de la chimenea. A igualdad de condiciones de instalación y de funcionamiento, ofrece un término de comparación utilizable de los diferentes sistemas de chimeneas.

2.3.- ENFRIAMIENTO DE LOS GASES

La influencia de las infiltraciones de “aire falso” puede determinarse con toda exactitud cuando se trata de instalaciones existentes, pero sólo es posible preverla de manera algo aproximada en los proyectos, porque depende en gran parte de la ejecución de los mismos. Puede, en cambio, determinarse teóricamente con bastante seguridad el descenso de la temperatura del humo. Esta determinación se efectúa a

base de la cantidad de gases que circula, de su temperatura de entrada y de la protección térmica que ofrecen las paredes de la chimenea. Para una determinada longitud de tubo y una sección constante, el descenso o caída de temperatura crece al disminuir la cantidad de gases y al aumentar la permeabilidad térmica. (Este capítulo ha sido extractado esencialmente de Heinrich – Schmitt, 1998)

La transmisión, permeabilidad o fuga del calor de las paredes de la chimenea comprende: el paso del calor de los gases del humo de la superficie interior de la pared de la chimenea, la conducción de ese calor a través de las materias de dicha pared, pasando de la cara interior a la cara exterior de la misma, y el paso o intercambio del calor de la superficie exterior de la pared al aire ambiente.

El paso o intercambio de calor se efectúa parte por convección (arrastre o transporte de calor) y parte por radiación. Como los gases sólo irradian calor a base de grandes densidades y altas temperaturas (por ej., por encima de 673 K [400°C]), sólo es necesario ordinariamente tener en cuenta, para la transmisión del humo por las paredes de la chimenea, la fracción correspondiente a la convección. Esta es mayor en el caso de paredes de superficie áspera que en el caso de superficie lisa, y también es mayor para corrientes turbulentas que para corrientes laminares y asimismo es mayor en corrientes forzadas (viento, ventiladores) que con el tiro natural.

El intercambio de calor entre los gases del humo y el aire exterior no tiene lugar con la misma intensidad en todos los puntos de la chimenea; sin embargo, cuando sólo se persigue una vigilancia y control, se suele hacer referencia a la pérdida media por metro de longitud del tubo. Crece al aumentar las dimensiones de la superficie interior de la chimenea y tiene que alimentarse a expensas del calor de los gases que por ella circulan. Esto explica que, a igual temperatura de entrada de los gases del humo, una gran masa de los gases ve mermado su contenido de calor, que es considerable, en una cantidad que representa un tanto por ciento mucho

menor cuando la masa de gases es más pequeña; en este último caso, la cantidad de calor de los gases es menos importante y la pérdida producida la afecta de tal manera que el calor residual es ya suficiente para la producción de la depresión necesaria. En consecuencia, y aun cuando la chimenea vaya poco cargada o sea de dimensiones excesivas, como ocurre a menudo en la construcción de chimeneas domésticas, los gases del humo a los pocos metros de altura se han enfriado tanto que no sólo se encuentran por debajo del punto de rocío de la mezcla, sino que incluso a veces vuelven a descender por la chimenea y penetran de nuevo en el local a que está conectada. Según indican los estudios comparativos, en las chimeneas poco cargadas la depresión crece con la altura dentro de muy estrechos límites. Aparte de que cuando ésta es excesiva perjudica más de lo que beneficia. Por consiguiente, todas las chimeneas deben calcularse de manera que el contenido de calor de los gases se halle en una relación lo más favorable posible con la superficie del tubo que los contiene. Se escoge para ello, una sección de chimenea que no sea mayor que la que realmente exija la carga de humo. Estas consideraciones también inclinan la elección a favor de la chimenea de sección circular cuyo perímetro (que corresponde a la superficie interior de la chimenea) viene a ser una quinta parte menor que el que corresponde a una sección cuadrada equivalente desde el punto de vista de la técnica de la corriente de los gases. Las secciones rectangulares resultan aun más desfavorables.

La relación entre sus lados no puede superar la proporción 1:1,5, siquiera por motivos técnicos de circulación.

Una instalación de calefacción “antigua” puede mantener caliente la chimenea hasta la salida si la temperatura del humo es suficientemente alta. Los modernos sistemas de caldera tienen un grado de eficacia de combustión superior al 90% y los gases de combustión a una temperatura inferior a 100°C. Si se conecta una calefacción moderna de estas características a una chimenea sin aislar, el calor

desprendido al enfriarse el humo no llega a la cabeza de la chimenea. El punto de rocío del humo se rebasa en la chimenea y se deposita hollín. La única solución consiste en aislar y colocar un nuevo tiro en la chimenea, por ejemplo, de tubos cerámicos, vidriados o de acero inoxidable.

2.4.- RESISTENCIA OPUESTAS A LA CIRCULACIÓN DE LOS GASES

Las resistencias opuestas a la circulación son de diversa magnitud, según sean las características de la corriente gaseosa. El que ésta sea laminar (ordenada) o turbulenta (desordenada) depende de la naturaleza de la sección y de las dimensiones de la misma en el tubo por donde circulan los gases, así como de la velocidad media de circulación y de la viscosidad cinemática de los gases. La corriente laminar puede producirse en chimeneas poco cargadas y en los tubos de estufas de mayólica de grandes dimensiones, pero en la práctica casi siempre se produce una corriente turbulenta en los conductos de humos. El paso del régimen de corriente laminar al de corriente turbulenta se produce al alcanzar la “velocidad crítica”. El tipo de corriente en los gases o humo reviste gran importancia para la transmisión del calor de los mismos a la superficie interior de la chimenea. Según su modo de actuar, hay que distinguir, en las resistencias ofrecidas al paso de la corriente gaseosa, las resistencias de rozamiento y las resistencias aisladas.

2.4.1.- Resistencias Aisladas o de Singularidades

Son las ocasionadas por los cambios de la sección en los conductos y las variaciones bruscas de dirección de los mismos. Producen remolinos en la corriente y dan lugar a pérdidas de presión. El valor de éstas se expresa en función de la altura de velocidad (presión dinámica). Los diferentes valores de las resistencias aisladas se consignan en la tabla siguiente, expresados por el coeficiente de la presión dinámica:

Clase	Coeficiente
Codo brusco en ángulo recto	1,5
Codo brusco en ángulo recto, pero con deflectores de plancha (según tipo)	0.2 - 0,8
Curvas redondeadas (Radio de curva =2 diámetros del tubo)	0,1
Ramales, en forma de T, corriente en dirección transversal	3,0
Ramales: bifurcaciones u horquillas	1,0
Embocaduras o desembocaduras con bordes agudos en los conductos y también aberturas de aspiración o inyección Tamiz o enrejado, según sea la relación entre el paso libre y la sección total	2 - 16

Tabla nº 2 Resistencias aisladas de los conductos de aire y de gases:

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

Como la pérdida de presión debida a las resistencias aisladas también crece con el cuadrado de la velocidad de la corriente, su disminución tiene una extraordinaria importancia. Así, por ejemplo, en los indispensables cambios de dirección de los conductos y chimeneas nunca debería hacerse como se acostumbra, acodándolos bruscamente, sino según un arco redondeado. Deberían evitarse todo lo posible las sinuosidades y desviaciones en las chimeneas, puesto que sólo es eficaz para el tiro la componente vertical y además obligan con frecuencia a la colocación de soportes o apoyos adicionales.

Como resistencias aisladas que influyen en la velocidad de ascensión deben considerarse finalmente también la composición de las capas y la altura de apilado de los materiales combustibles sólidos, así como la resistencia del emparrillado y de las aperturas de ingreso de aire al hogar.

2.4.2.- Resistencias Regulares o de Rozamiento

El razonamiento de los gases contra las paredes de los conductos y de la masa de la propia corriente gaseosa retarda la circulación de ésta y se traduce en

una pérdida de presión. La magnitud e importancia de las resistencias de rozamiento dependen de la aspereza o rugosidad de las paredes y de la forma de la sección, y aumentan con la longitud del tubo.

Mientras se trata de corrientes de tipo laminar, la rugosidad de las paredes carece de importancia y las pérdidas de presión que se producen son proporcionales a la velocidad de la corriente. Cuando el régimen de la corriente es del tipo turbulento, las pérdidas en los tubos lisos crecen con el cuadrado de velocidad. En los tubos de superficie áspera u rugosa, las pérdidas de presión son mayores que en los tubos lisos, y en las chimeneas que tienen adherencias de hollín pueden llegar hasta el doble.

También es importante la forma de la sección de los conductos. Las formas rectangulares no son favorables; en cuanto más aplanadas, peor. La mejor solución son las secciones cuadradas y sobre todo las secciones circulares de chimeneas. El tamaño de las secciones cuadradas equivale aproximadamente al de las secciones circulares cuando el lado del cuadrado es igual al diámetro.

CAPITULO III

EJECUCIÓN DE UNA CHIMENEA

3.1.- EJECUCIÓN DE UNA CHIMENEA

El buen funcionamiento y la economía de un sistema de calefacción requieren una perfecta complementación entre el hogar de combustión y la chimenea. El planeamiento de instalaciones mayores es trabajo de los ingenieros especialistas. Para la ejecución de estas instalaciones deben seguirse las siguientes normas correspondientes. Los problemas de la calefacción con una sola caldera son abordados por los planeadores, de manera extraordinariamente superficial, hasta el punto de que la regla arbitraria:” ¡una chimenea de 20 x 20 tira siempre!”, cuenta con muchos adeptos. Desde hace años, sin embargo, se ha estudiado mucho el sistema

de caldera única, mejorándose su rendimiento, de manera que se liberan más calorías para un apropiado caldeamiento del local se mantienen las pérdidas de la chimenea lo más bajas posible. Estos estudios han alcanzado, sin embargo, un tope, un límite consistente en que al pretender rendimientos más altos del 85% se ocasionan suficiente cantidad de calor para cumplir su cometido. (Heinrich – Schmitt, 1998).

El problema de conseguir el mayor rendimiento posible y los elevados requisitos sobre la chimenea que conlleva, surgió al sustituir la leña y el coque por otros combustibles. Además, antes no se dominaba el proceso de combustión en la medida en que se conoce actualmente, sobre todo en los aparatos individuales, gracias a las posibilidades de regulación y medición electrónicas.

Los aparatos quemaban con un rendimiento del 50 al 60% y la temperatura de salida de gases que- junto con el contenido en CO₂ del gas que elimina- da una idea esencial de dicho rendimiento, era muy alta. Hoy en día, las normas sobre aparatos prescriben un rendimiento del 70% y advierten que deben evitarse los conductos de caldera demasiado largos y las superficies de caldeo suplementarias o adicionales. Los aparatos actuales ofrecen rendimientos entre el 80 y 90%, por lo tanto sólo se pierde por la chimenea entre un 10 y un 20% del calor producido, justo para que mediante el ascenso se vaya manteniendo por abajo la baja presión que provoque la entrada de aire nuevo necesario para la combustión, y se empuje hacia arriba a los gases a expulsar. Esto pone en claro que las calderas modernas, aunque son más económicas, presentan mayores exigencias para las chimeneas que las calderas antiguas, cuyos gases de expulsión tenían temperaturas tan altas que podían salir incluso por una chimenea defectuosa, de donde se demuestra que aquella regla empírica antes citada ya no puede formularse.

Se fabrican aparatos individuales de calefacción para combustibles sólidos, gas, fuel-oil y la electricidad. Para todas las fuentes de energía, excepto la

electricidad, es necesario conducir hasta el exterior los gases de combustión. Se ha de distinguir entre estufas para combustibles sólidos o líquidos y estufas para combustibles gaseosos.

3.1.1.- Determinación del Calor de Calefacción

Para el cálculo de las dimensiones de las chimeneas en los edificios se empieza determinando el calor necesario para cada uno de los locales que hay que caldear. La cantidad de calor que se necesita en un local depende de sus dimensiones y de su situación, así como de la temperatura que se desea reine en su interior; y también de las temperaturas más bajas que lo rodeen y de la protección o aislamiento térmico que le proporcionen las paredes y techos que lo cierran. El calor necesario se determina a base del cálculo de las pérdidas térmicas (NCH. 853) y proporciona el dato relativo a la potencia o capacidad de producción de calor útil que, efectivamente, se necesita para la calefacción del local; en ese dato se basa el cálculo de las dimensiones que hay que dar al hogar y a la chimenea. El cálculo exacto del calor necesario, tal como se efectúa, por ejemplo, en las instalaciones de calefacción central, es de la incumbencia del ingeniero especialista en calefacción.

Al arquitecto le bastan datos generales sobre las necesidades caloríficas en los edificios.

Edificio	Singularidades	Necesidad calorífica en función de la superficie en W/m ²
Edificios antiguos sin aislamiento térmico	Con plantas de gran altura libre	150
	Con plantas de altura normal	120
Edificios contruidos a partir aprox.1960, en parte con aislamiento térmico y acristalamiento doble	Con gran proporción de ventanas	100
	Con proporción normal de ventanas	90
Edificios nuevos con buen aislamiento térmico y acristalamiento doble	Edificios existentes	80

Tabla nº 3: Necesidad calorífica de los edificios

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

La tabla anterior indica los valores medios del calor necesario por unidad de superficie en un edificio.

Estos valores medios se refieren a una temperatura exterior de -15°C en zonas no muy ventosas. Para climas más extremos se han de corregir al alza los valores de la tabla.

Para viviendas unifamiliares o pareadas aisladas se han de aumentar los valores de un 10%.

En viviendas de edificios plurifamiliares o viviendas en hilera (a excepción de la vivienda situada en el testero) los valores se pueden disminuir en un 10%.

3.1.2.- Altura de la Chimenea

La altura de la chimenea queda determinada, en general, por la altura del edificio y la situación de la chimenea en planta.

Según Heinrich – Schmitt (1998), la altura mínima son 4m (hogares abiertos 4,50m). La altura de la chimenea no puede ser superior en ningún caso a 187,5 veces su diámetro. Por lo tanto, dada la altura del edificio, es tarea del especialista dimensionar la chimenea como sistema global en base a los requisitos citados y a la influencia de la instalación de combustión.

La altura mínima se determina en base a la resistencia de la instalación de combustión (la “necesidad de tiro” se encuentra entre 5 y 40 Pa), el tipo de combustibles y la superficie a calentar, por lo que a veces también calderas pequeñas necesitan chimeneas altas.

En los edificios de varias plantas, la altura eficaz de las chimeneas de los hogares individuales es diferente para cada piso. La depresión disponible suele ser demasiado elevada en los pisos inferiores, en tanto que resulta suficiente o demasiado escasa en los superiores, siendo en cambio igual el consumo de calor en todos los pisos; es, pues, necesario instalar estufas o fogones que funcionen bien

dentro de un amplio margen de depresión y con la máxima economía posible. Una depresión o tiro demasiado fuerte puede contrarrestarse tratando de rebajar la temperatura de entrada de los gases, alargando los conductos de humos de los hogares o tubos de enlace con la chimenea, para producir un sensible enfriamiento de los gases. Cuando sólo hay un hogar conectado a la chimenea (caldera de calefacción central) puede combatirse una depresión demasiado fuerte (exceso de tiro) mediante una cuidadosa admisión de aire frío, producida por válvulas o compuertas de regulación automática, que la reducen hasta la medida deseada. Cuando el tiro o depresión disponible es insuficiente, puede mejorarse mediante una elevación de la temperatura del humo. Muchas veces basta ya con hacer trabajar la chimenea a plena carga, de manera que siendo mayor la cantidad de gases disponga de una mayor cantidad de calor para producir su movimiento ascensional. Un sistema muy sencillo es empezar por suprimir o hacer lo más corto posible el tubo de conexión del hogar con la chimenea. Muchas veces da también buen resultado el empleo de otra clase de combustible. Sin embargo, resulta más económico en todos los casos mejorar la protección térmica de las paredes de la chimenea y escoger una sección que posea la forma y el tamaño más adecuados.

Las chimeneas “tiran” mejor cuando son verticales y abandonan el edificio por la cumbrera o cerca de ella, ya que aquí es donde la succión aerodinámica de los gases de combustión es óptima. Situar la chimenea cerca de la cumbrera tiene además la ventaja de que el agua de lluvia que se ha de desviar es mínima.

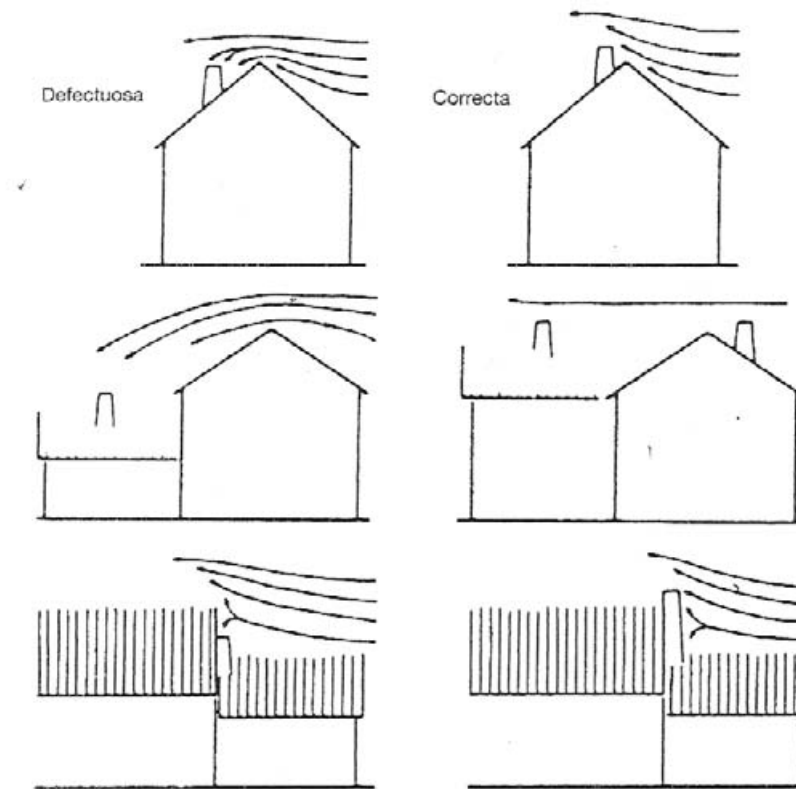


Figura nº 1: Acción del viento sobre el tipo de las chimeneas

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

El caso óptimo es que la chimenea atraviese la cubierta por el centro de la cumbrera, pero en este caso la armadura de la cubierta, seguramente, deberá embrocharse. Estas consideraciones técnicas se han de tener en cuenta al distribuir la planta. Las chimeneas han de sobresalir 40cm. por encima de las cumbreras o de los edificios contiguos si la pendiente es superior a 20°. Para cubiertas menos inclinadas, la altura necesaria es 1mt. por encima de la superficie de la cubierta, medida en paralelo. Para las cubiertas planas la altura mínima también es 1mt, aunque en este caso se mide desde el canto superior en el borde la cubierta.

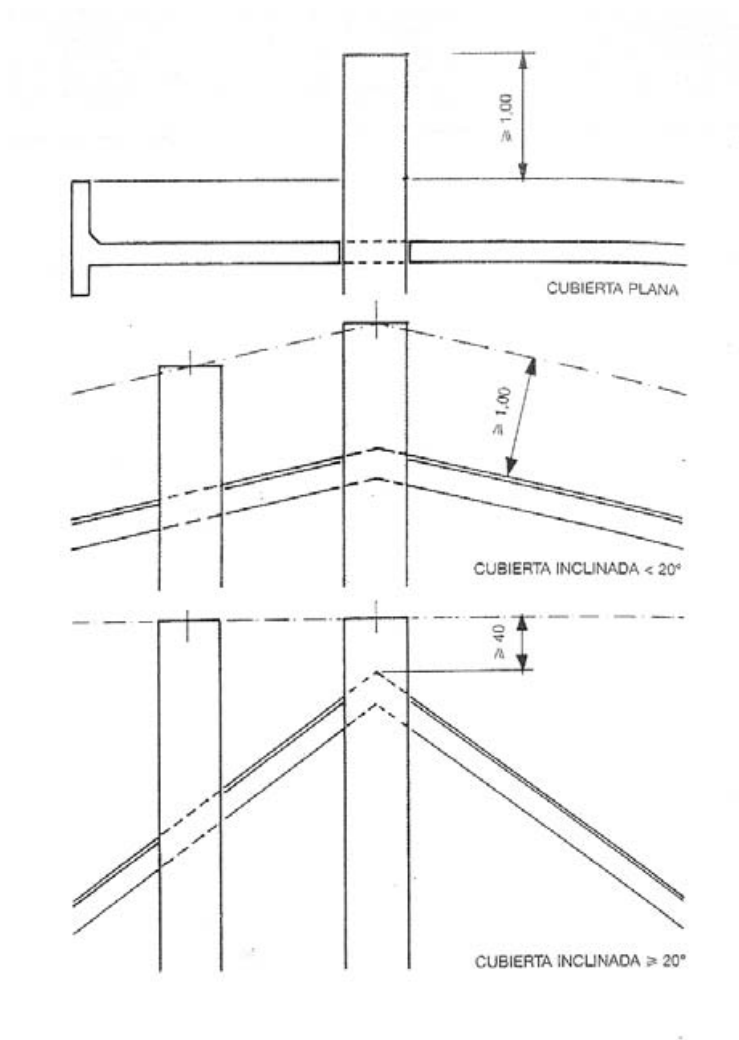


Figura nº 2: Cubierta Plana; Cubierta Inclínada < 20°; Cubierta Inclínada >20°.

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; Chimeneas e instalaciones de calefacción.

3.1.3.- Sección de la Chimenea

Una vez fijada la altura de la chimenea y la cantidad de gas a extraer (considerando la capacidad de la caldera y el tipo de combustible) y conocidas las pérdidas que se producirán, se puede calcular la sección de la chimenea para un intervalo determinado de temperatura de los gases de combustión. Por ejemplo: A mayor sección hay menor pérdida por roce, pero la chimenea es mas cara ya que la superficie de las paredes es mayor y adquiere una mayor necesidad de aislación para evitar exceso de perdida de calor y disminución del tiraje.

En el capítulo 5.9.1 se indica el procedimiento del cálculo de la sección transversal.

El cálculo de la sección de una chimenea a través de reglas empíricas no es suficiente, ya que no se tiene en cuenta algunos factores que ejercen gran influencia. Éstos son:

- Tipo de combustible.
- Tipo de construcción de la chimenea.
- Altura eficaz de la chimenea.
- Presión de succión necesaria (tiro).
- Temperatura de los gases de combustible a la salida del generador de calor.
- Características de la transmisión entre el generador de calor y la chimenea.
- Rendimiento nominal del generador de calor.

Los fabricantes de chimeneas prefabricadas proporcionan diagramas que permiten al arquitecto hacer un predimensionado para el proyecto, el dimensionado exacto lo hace después el ingeniero especializado.

3.1.4.- Paredes de la chimenea

Las paredes de una chimenea han de proporcionar suficiente aislamiento térmico para que, por un lado, los gases no se enfríen demasiado (lo que implicaría una excesiva pérdida de depresión y una condensación continua de vapor de agua) y, por el otro, que las temperaturas en la superficie exterior de la chimenea sean lo suficientemente bajas para que no corran peligro los elementos de madera adyacentes.

La separación entre las caras exteriores de la chimenea y los elementos de maderas deberían ser como mínimo de 5cm y lo suficientemente estancas a los gases para impedir que entre aire del exterior o se filtren gases de combustión al interior.

Debe resistir los ataques químicos de los gases del humo y su superficie interior debe ser lo mas lisa posible.

Tanto en funcionamiento normal como en los casos en que se prende fuego al hollín incidentalmente (o intencionalmente para quemarlo) deben ser de volumen tan estable que, a pesar del fuerte calor y de la rápida variación de temperatura, se conserven inalterables la forma y la estructura de la chimeneas. Su estabilidad estática debe estar asegurada cualquiera sean las condiciones de funcionamiento.

Es necesario que su construcción pueda ser perfecta sin necesidad de exigir unas precauciones exageradas.

3.1.5.- Protección térmica

En tanto que cuando se trata de chimeneas para grandes hogares se suelen cumplir bien las exigencias que impone la protección térmica, resulta en cambio más difícil lograr de modo suficiente dicha protección en las chimeneas de hogares pequeños.

La causa estriba en que la mayor parte de estas chimeneas trabajan con poca carga. Las cantidades de gases que por ellas circulan son tan pequeñas, en relación con la superficie interior de sus paredes, que su enfriamiento es demasiado rápido. Un aislamiento eficaz que atenuase la pérdida de calor implicaría gastos tan considerables que no serían prácticamente admisibles. Los recursos para disminuir los inconvenientes de una sección exageradamente grande de la chimenea son:

- aumento de la cantidad de gases conectados a la chimenea, varios hogares.
- aumento de la temperatura de los gases.
- aumento del exceso de aire.
- adición de aire previamente calentado.

La mejor solución, sin embargo, es reducir la sección de la chimenea al mínimo admisible en relación con los hogares a ella conectados, de acuerdo con las

precedentes explicaciones. El funcionamiento a plena carga de la sección adoptada es una condición básica de la construcción de una chimenea. Mientras no se pueda llegar a ella hay que reducir las otras medidas para la mejora de la protección térmica en las paredes de la chimenea. La protección térmica mínima no sólo debe ser suficiente para asegurar la producción del tiro necesario, sino que, además, debe ser bastante eficaz para impedir la producción de condensaciones. No se trata precisamente aquí de aquellas pequeñas precipitaciones que se producen casi siempre durante el calentamiento de la chimenea al encender el fuego y que no suelen ser perjudiciales. Lo que hay que evitar son las condensaciones de agua que repetida y constantemente se producen procedentes de los gases del humo durante el normal funcionamiento de la instalación, siempre en los mismos puntos de trayecto de los gases en que las temperaturas de la superficie interior de la chimenea, y por tanto del humo, caen por debajo del punto de rocío de la mezcla gaseosa.

En muchas chimeneas de obra de fábrica no basta la protección térmica de sus paredes para impedir las condensaciones de agua, pero sin que por ello se produzcan grandes daños. En tales casos, la capacidad de absorción del ladrillo de la obra basta para establecer una compensación de la humedad. Una pared de chimenea algo permeable a la humedad absorbe parte del agua y, por efecto de la conductividad térmica, la desplaza hacia el exterior, donde, en circunstancias normales, se evapora. La temperatura de la superficie interna puede entonces ser un poco mas baja que el punto de rocío de la mezcla de gases, sin que la pared de la chimenea aparezca mojada. Este estado de cosas sólo es satisfactorio mientras la cantidad de agua condensada que se produce corresponde al poder de difusión de la pared de la chimenea. Si la diferencia de temperatura es mayor y con ella aumenta también la cantidad condensada, los poros del material quedan excesivamente empapados y se observa que la pared esta mojada de manera apreciable. Cuando la combustión es incompleta, los gases del humo contienen también, además del vapor

de agua, alquitranes que se depositan en forma de brea y hollín. Estas sustancias se mezclan con el agua (adherencia de hollín graso) y forman un líquido pardusco que va escurriendo y que penetra en la obra de fábrica, pudiendo llegar a aparecer en la superficie exterior en forma de manchas oscuras.

Si la impregnación se prolonga, llega a producir una temible incrustación de hollín. Favorecidos por la impregnación, penetran en la obra de fábrica los alquitranes corrosivos y el ácido sulfúrico. Este último se forma con el agua y el anhídrido sulfuroso producido principalmente en la combustión de hullas, briquetas y coque. Descompone los morteros y las piedras y ataca los hierros. Cuando la obra de fábrica de una chimenea esta empapada y queda expuesta a las heladas existe el peligro de sufrir los efectos de la congelación. Un revoque o enlucido exterior demasiado grueso y compacto actúa muy desfavorablemente, por que detrás de él se acumula la humedad difundida por la obra de fábrica de las paredes de la chimenea, y luego por los efectos de las heladas rompe y disgrega la obra.

La parte de una chimenea correspondiente a su boca superior es la más afectada por tales daños, pues en ella las bajas temperaturas de los gases del humo se prestan mejor a que éste descienda por debajo del punto de rocío. Es necesario por consiguiente, que las paredes de las chimeneas, al atravesar el desván y sobre todo en la parte de chimenea que sobresale fuera de la cubierta, vayan mejor protegidas que al recorrer locales provistos de calefacción en pisos inferiores.

Una pared de chimenea impermeable a la humedad (hecha, por ejemplo, de ladrillos, de hormigón compacto, enlucida con cemento, o de tubos cerámicos vidriados, etc.) cumple mejor con las condiciones requeridas de gran impermeabilidad para los gases, de superficies internas bien lisas y de mayor inalterabilidad ante los agentes químicos que las paredes de chimenea permeables a la humedad. Sin embargo, tales procedimientos sólo se hallan justificados cuando, de antemano, puede excluirse al enfriamiento de los humos por debajo de su punto

de rocío, cosa posible cuando el cálculo de la chimenea está bien hecho y se aplica una protección térmica suficiente por medio de capas de algún material aislante (por ejemplo, lana mineral o placas ligeras de lana de madera). Cuando la protección térmica es insuficiente, en las chimeneas de paredes impermeables se producen condensaciones que escurren hacia la parte baja de aquellas. Para su purga o extracción se usan las llamadas cubetas colectoras de agua de exudación. Está contraindicada la conexión o enlaces de esas purgas con los desagües domésticos por la posible formación de ácido sulfúrico y por la destilación de alquitranes, así como la posibilidad que se inflamen en la chimenea los gases que pueden desprenderse de los alcantarillados.

Para proteger las materias combustibles próximas a las chimeneas (sobre todo los elementos constructivos de madera), la calorifugación o protección térmica de las paredes de las mismas debe ser suficiente para que las temperaturas en su superficie exterior no lleguen a un límite que no pueda soportarse con la mano, y como máximo, en todo caso a 343K (70°C). (Heinrich – Schmitt, 1998). Las chimeneas de piezas moldeadas especiales deben presentar la misma protección térmica que las de paredes de ladrillo macizo, cosa que hay que comprobar en cada caso, mediante los oportunos certificados de ensayos y autorizaciones.

3.1.6.- Resistencia al fuego y al calor

Cuando la instalación de combustión funciona normalmente se cuenta, en los edificios de viviendas, con una temperatura de los gases de combustión a la entrada de la chimenea de unos 353-473K (80-200 °C). Al quemar el hollín de una chimenea, accidental o intencionalmente, se alcanzan temperaturas momentáneas de más de 1273K (1000°C). Por este motivo, las paredes de una chimenea no sólo han de ser incombustibles y estar suficientemente protegidas contra incendios, sino que han de ser lo bastante resistentes para soportar estas temperaturas tan elevadas y estos cambios repentinos de temperatura sin que se altere su forma. En las

antiguas chimeneas de ladrillos macizos se consideran suficientes, en general, paredes de 12 cm. de espesor hasta una sección de 400cm^2 . Para combustiones con un rendimiento útil de 46KW (40.000 kcal/h), (que corresponde aproximadamente a 800-900 m^3 de espacio calefaccionado) las paredes de la chimenea han de tener un espesor de 24cm. o estar formadas por varias hojas. En las instalaciones de grandes calderas para combustibles que producen una gran cantidad de gases de combustión, o de funcionamiento intermitente, es necesario revestir la chimenea con ladrillos refractarios desde la entrada de los gases hasta la altura de un piso. En las paredes de varias hojas, la hoja interior (canal de gases) no puede tener un espesor inferior al correspondiente al material de construcción empleados, si la chimenea ha de ser suficientemente estanca a los gases y resistente al fuego y al calor. Las características exigidas deben comprobarse mediante ensayos oficiales. (Heinrich – Schmitt, 1998).

3.1.7.- Estanqueidad a los gases

Únicamente son por completo estancas a los gases las chimeneas metálicas sin costuras; todas las chimeneas no metálicas son más o menos permeables a los gases. Esta estanquidad depende del espesor de las paredes, de la naturaleza del material de que están hechas (porosidad) y de la diferencia de presiones que exista entre el aire exterior y los gases. Por consiguiente, en la parte inferior de la chimenea donde, en funcionamiento normal, existe la máxima depresión, es donde mas nociva es aquella estanquidad y es también donde mas se manifiesta por las infiltraciones de aire. Cuando el funcionamiento es anormal (sobrepresiones dentro de la chimenea), una falta de hermeticidad en las paredes y en las juntas de las chimeneas se traduce en la salida de humo hacia locales por los que pasa la chimenea.

Las chimeneas de obra de ladrillo macizo bien rejuntada, gracias al espesor relativamente grande de sus paredes y a pesar de sus numerosas juntas, son muy

estancas a los gases, para cualquier forma de servicio a que se sometan. Sus múltiples juntas ofrecen, desde luego una resistencia inconveniente al tiro de los gases, pero, en cambio, cuando se producen fuertes solicitaciones térmicas en la masa de la obra, actúan como un amortiguador contra las dilataciones que tienen lugar, cosa que explica su gran resistencia contra la formación de grietas. La estanqueidad a los gases de las paredes de chimenea hechas de obra de fábrica puede además mejorarse notablemente mediante un compacto revoque exterior (especialmente en la base de la chimenea, donde existen las mayores diferencias de presión).

Las chimeneas de piezas monolíticas y, por consiguiente, con menos juntas de amortiguación son, sin embargo, frecuentemente más estancas a los gases, aun cuando el material presente, en la mayor parte de los casos, una estructura más compacta. Esto es debido a que las paredes son mucho más delgadas, con lo cual las juntas horizontales tienen menor anchura, y también, en muchos casos, es atribuible a la ausencia de un revoque y enlucido exterior. Por consiguiente, son muchos los casos en que las chimeneas se construyen con piezas especiales prefabricadas con la sección del ducto de humos redonda o redondeada en los ángulos y con la superficie interior bien lisa, con objeto de aprovechar las ventajas de una mejor corriente de los gases y de un menor depósito de hollín; sin embargo, conviene protegerlas térmicamente con placas o revestimientos, por ejemplo, de hormigón de pómez, que luego se cubren con un compacto revoque.

Cuando las paredes están mal protegidas térmicamente, la conveniente capacidad absorbente de las mismas para la humedad está en contraposición con las condiciones que exige la permeabilidad al paso de los gases. Es mejor, en tal caso, utilizar las chimeneas suficientemente impermeables a los gases, pero dotadas de buena protección térmica.

CAPITULO IV

CONSTRUCCION, TIPOS DE CHIMENEAS Y TIRO

4.1.- CONSTRUCCIÓN

Los conocimientos teóricos ofrecen los siguientes puntos de vistas para la construcción de las chimeneas: (extractado de Heinrich – Schmitt, 1998).

Las chimeneas, en cuanto sea posible, deben situarse hacia el centro de la planta del edificio, con lo cual se hallan rodeadas por todas partes de locales caldeados; deben subir verticalmente desde el nivel del suelo y desembocar en la cumbrera de la cubierta o en sus inmediaciones. Es posible, desde luego, construir chimeneas adosadas a paredes exteriores (como tambien junto a paredes de cajas de escaleras o a paredes cortafuegos aisladas) y aun construirlas aisladas de toda edificación, pero en tales casos sus paredes tienen que poseer una elevada protección térmica, que puede lograrse dando a las paredes mayores espesores, pero que se logra mejor mediante capas adicionales de aislamiento térmico. Cuando son necesarias varias chimeneas, como por ejemplo, en las construcciones de varios pisos, se las agrupa adecuadamente, de manera que se defiendan mutuamente contra las pérdidas de calor. La situación y agrupación de las chimeneas han de permitir, desde luego, una conexión sencilla con los hogares.

Las calefacciones y las chimeneas o lares de fuegos abierto deben tener chimeneas propias independientes. Los hogares con fuego permanente, como por ejemplo, las estufas cerámicas destinadas a la calefacción de varias habitaciones, deben conectarse también con chimeneas individuales para poder asegurar un funcionamiento sin perturbaciones. Los números de todos los hogares deben poder ser conducidos por la vía más corta a la chimenea mediante tubos de conexión (conductos de humos, tubos de estufas). Como puntos básicos para los conductos de humos, en lo relativo a su sección, forma, protección térmica, resistencia contra el

fuego, impermeabilidad a los gases y capacidad de acumulación de calor pueden servir los mismos que para las chimeneas.

Los tubos de humos desmontables, como suelen ser los tubos de estufas de tipo corriente, hecho de chapas de acero, tienen una sección mas estrecha que la de la chimenea correspondiente y menor también que la que correspondería a la potencia de las estufas, fogones u hornillos a ellos conectados. Con una buena estufa, la temperatura de los gases del humo en estos conductos no debe rebasar los 523 K (250°C).

Todas las chimeneas deber poder ser deshollinada en el sótano y el desván, pero no en las plantas de la vivienda. Las aberturas necesarias para la limpieza deben llevar doble puertas resistentes al fuego, que cierren muy bien para que por ellas no pueda ser aspirado aire falso. Generalmente esas portezuelas de las chimeneas son de hierro, pero también pueden hacerse trampillas de limpieza de hormigón, especialmente si después de cada limpieza se tiene la precaución de reajustarlas con barro. Las aberturas de limpieza deben, cuando menos, hallarse a la altura de un cubo de limpieza y a lo más a 1,5 mt. por encima del pavimento inmediato; sí este es de madera conviene cubrirlo con una chapa metálica. En locales que se almacenen materiales inflamable o fácilmente combustible o bien en que se manipulan tales materiales (por ejemplo, heno o paja en desvanes o buhardillas) no se podrán abrir en las chimeneas puertas de limpieza que den a dichos locales. Tales chimeneas, además, se revestirán con un tabique de protección de ladrillo macizo o con un revestimiento de placas aislantes. En caso necesario, tales chimeneas se deshollinan desde la cubierta, en la que habrá que colocar tablones fijos para circular y peldaños de hierro, con el fin de evitar accidentes. En las agrupaciones de chimeneas, cada una de ellas debe llevar sus propias aberturas de limpieza, que se marcarán con los números de los pisos y de la puerta

correspondiente. Cada chimenea debe tener su desembocadura independiente por encima de la cubierta.

Por su considerable peso y para no tener que hacer de deshollinador en el interior de la vivienda, se suelen cimentar las chimeneas sobre el terreno firme haciéndolas atravesar, convenientemente protegidas contra la humedad, por los sótanos y por las demás plantas hasta sobresalir por encima de la cubierta o tejado. Sólo en casos excepcionales se las apoya sobre un forjado macizo en alguna de las plantas del edificio. En tales casos hay que prever que incluso en caso de incendio quede asegurada la estanqueidad estática de la chimenea.

Para tener la garantía de una suficiente seguridad contra el fuego es necesario que toda estructura de madera quede separada lo menos 20 cm. del paramento de la chimenea. Cuando una chimenea atraviesa un forjado o cubierta de vigas de madera hay que cerrar el espacio intermedio entre vigas y cabios por medio de una estructura de protección de la chimenea. Antiguamente se hacían unos voladizos en las paredes laterales de la chimenea o se empotraban tejas planas con las juntas encontradas; actualmente se dispone allí una corona de hormigón. En rigor, esas disposiciones protectoras actúan como aletas refrigeradoras, con lo cual en tales puntos, y en la parte correspondiente al interior de la chimenea pueden depositarse condensaciones que, sobre todo al atravesar la cubierta donde reina el máximo salto de temperatura, es frecuente que se llegue a empapar el material de la obra. Es prudente recubrir la chimenea en esos puntos con cartón de amianto y rellenar el espacio intermedio hasta llegar a las estructuras de madera con lana mineral o con algún otro material aislante incombustible. Por las mismas razones se debería colocar en las uniones con forjado macizo alguna capa aislante. En los locales de desvanes y de sótanos, las chimeneas deben ir revestidas por una capa de revoque por lo menos.

En las chimeneas de piezas prefabricadas se recomienda construir un revestimiento de ladrillo, de 11,5cm. de espesor, unidos a las paredes contiguas. Tiene la ventaja de que los movimientos longitudinales de dilatación térmica de la chimenea no provocan grietas en las zonas del forjado, ya que estas quedan tapadas y, además, se consigue un determinado grado de aislamiento acústico.

Como en las cubiertas de correas de madera no es conveniente interrumpir la correa de cumbrera, en estos tipos de cubierta lo mejor es hacer pasar la chimenea por la cubierta de al lado de una correa. En las cubiertas planas y en las inclinadas a veces es necesario curvar las chimeneas para que desemboquen cerca de la cubierta, donde tiene mejor tiro. La sección de la chimenea se debe mantener en todos los puntos y al curvarla la inclinación de la chimenea respecto a la horizontal debe ser mínima. Los fabricantes ofrecen piezas curvas homologadas. En principio, habría que evitar curvar una chimenea debido a la complejidad constructiva que implica y al costo que representa.

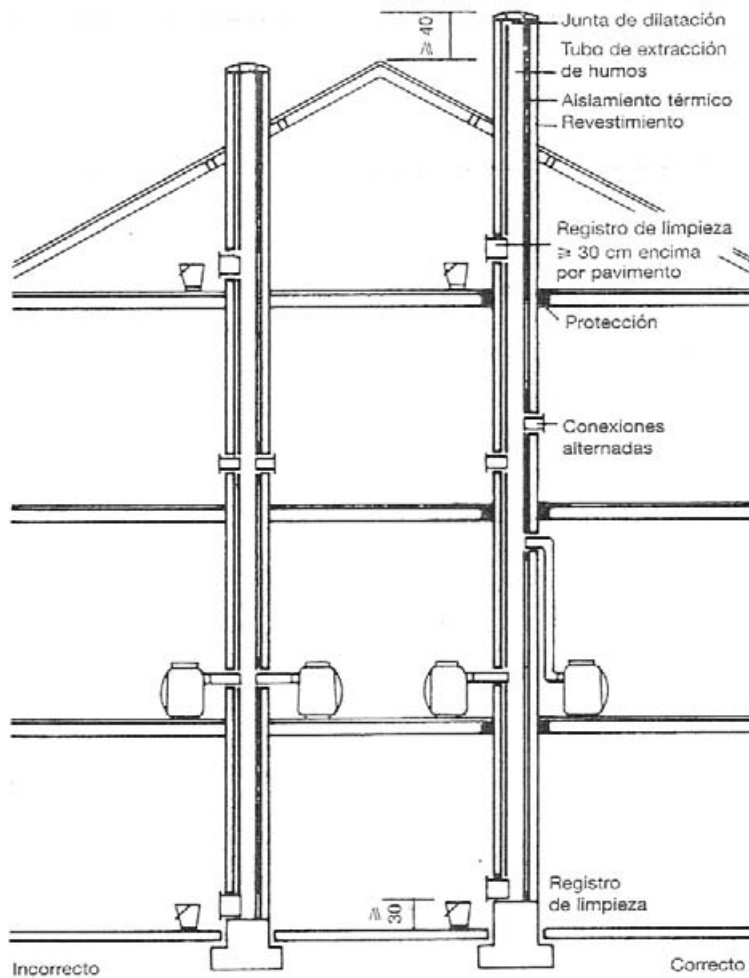


Figura nº 3: Ubicación de una chimenea en un edificio con techo inclinado

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.- SISTEMAS DE CHIMENEAS

El desarrollo de las chimeneas en las últimas décadas ha evolucionado hacia sistemas constructivos cada vez más complejos, condicionado por el desarrollo paralelo de las instalaciones de combustión y la optimización del grado de eficiencia. Si al comienzo, en el caso de las calefacciones individuales de estufas y las primeras calefacciones centrales, se podía recurrir a las chimeneas de obra, éstas pronto se reemplazaron por piezas prefabricadas de una hoja, de 33 cm. hasta 3 mt. de longitud. Debido a la reducción de temperatura de los gases de escape, gracias a la mejora del grado de eficacia de los sistemas de combustión. El riesgo de condensación de ácidos en el aislamiento térmico de las paredes de la chimenea y

su resistencia a los mismos planteó unos requisitos que las chimeneas de una hoja no podían cumplir.

Aparte de que las modernas chimeneas de piezas prefabricadas tienen un costo de colocación inferior a las de chimeneas de obra, también ofrecen la posibilidad de construcción con varias hojas, donde cada capa satisface requisitos específicos.

En las calefacciones de fuel-oil se produce una cantidad considerable de vapor de agua. Al rebasar el punto de rocío. El vapor de agua se condensa en las paredes de la chimenea. Absorbe hidrocarburos no quemados y ácidos sulfúricos que pueden atacar las paredes de la chimenea. De esta forma se producen, en las chimeneas de una hoja, las deposiciones de hollín que, poco a poco, destruyen las paredes de la chimenea.

Se distingue entre los siguientes tipos de chimeneas:

- Chimeneas de obra de fábrica.
- Chimeneas de una hoja, de piezas prefabricadas.
- Chimeneas de varias hojas, de piezas prefabricadas.
- Chimeneas de varias hojas resistentes a la humedad.
- Chimeneas aisladas.

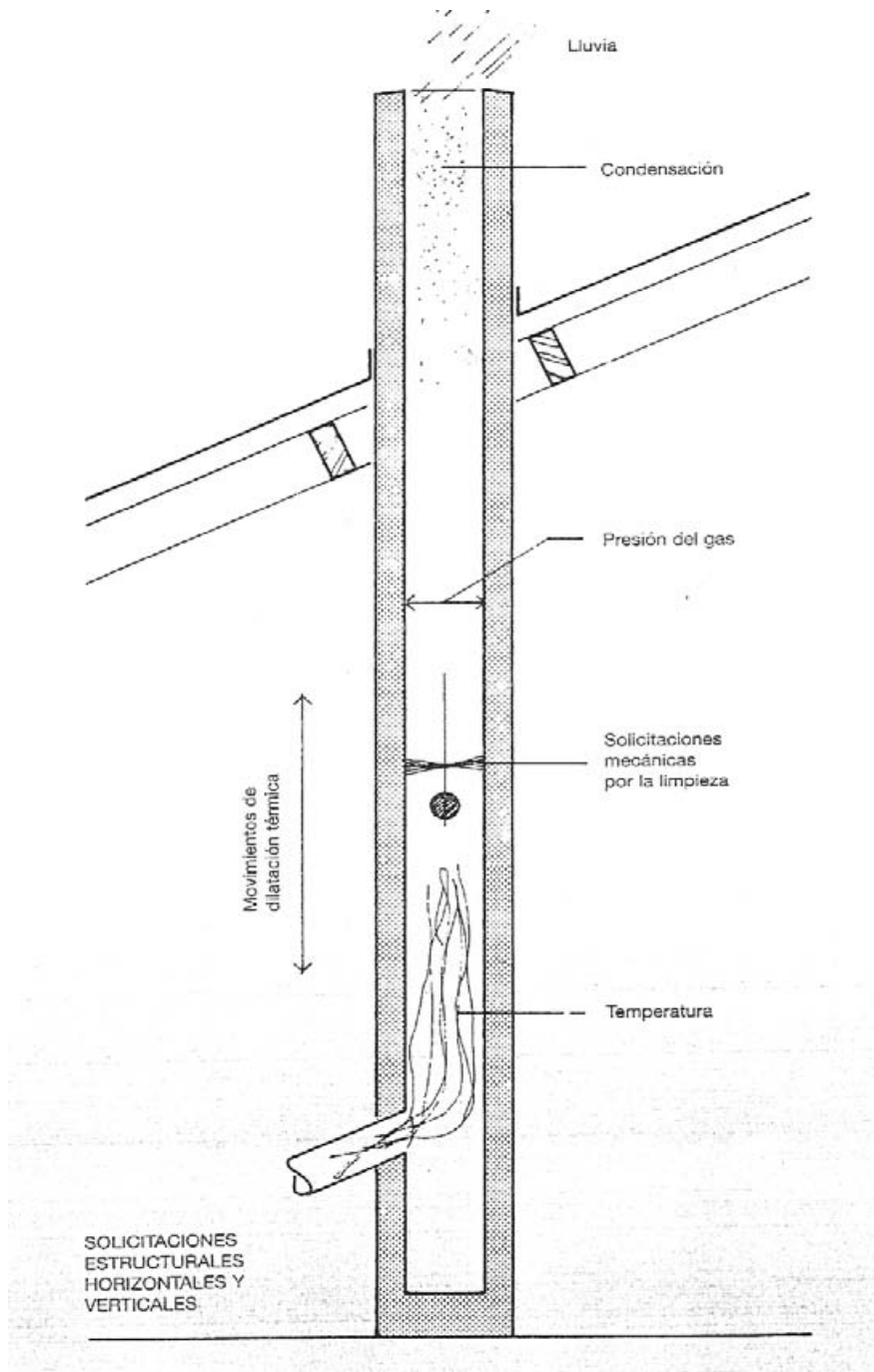


Figura nº 4: Solicitaciones estructurales horizontales y verticales

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.1.- Chimeneas de obra de fábrica

En la actualidad apenas se construyen chimeneas de obra de fábrica.

La obra se hace con ladrillos de buena calidad, ligados con morteros de cal y cemento; en muchos sitios se sube la chimenea simultáneamente con las paredes del edificio, se enlucen por el interior con una capa fina; pero es mejor hacer un aparejado o enlace entre la chimenea y las paredes. Al elegir o fijar la sección hay

que tener la precaución de que el aparejo de las piezas resulte sencillo y, especialmente en los tizones, no haya que recurrir a medios ladrillos o cuartos de ladrillos, pues tarde o temprano acaban por soltarse y caer en los conductos de humos o bien quedan atravesados obstruyendo el paso a los gases. Según la experiencia que de ello tiene los deshollinadores, las chimeneas que mejor resultado dan son las de casas antiguas en que las chimeneas de 26/26 cm. están hechas únicamente con piezas cerámicas enteras. Las superficies exteriores de las paredes de las chimeneas se revocan y enlucen, como las paredes del local, con dos capas. También en los desvanes es preciso revocarlas o enlucirlas, pero en tal caso basta una sola capa, tal como se hace en las paredes cortafuegos.

En las paredes de mampostería de piedra natural o de hormigón, las chimeneas deben ligarse como si fuesen de obra de ladrillos independientes y aisladas. También en el caso de paredes de entramado, las chimeneas tienen que ser construidas en forma independiente, manteniendo siempre la indispensable distancia entre ellas y las estructuras de madera.

En general, las chimeneas domésticas hasta 400 cm² se construyen con paredes de media asta, suficientes para satisfacer los requisitos normales. Para instalaciones de combustión con un gran consumo de combustible, por ejemplo, en grandes calefacciones centrales, panaderías, restaurantes, etc., y secciones superiores a 400 cm² se necesitan paredes de 24cm. Además, el tercio inferior se suele tener que revestir con ladrillos refractarios.

Las paredes de una chimenea no pueden utilizarse para apoyar forjados macizos, vigas de acero, vigas de hormigón prefabricado. Para ello se han de adosar pilares de un asta a las paredes de la chimenea.

Los tabiques no deberían coincidir con el centro de las chimeneas sino con uno de sus lados. En los tiros de humos deberían evitarse, en la medida de lo posible, las juntas en cruz o a testa.

Las chimeneas de ladrillos calcáreos deberían colocarse con la cara lisa hacia el interior y dejarla sin revocar. Las chimeneas de ladrillos macizos porosos (en caso de estar autorizado su empleo) se han de revocar el interior. Las paredes de una chimenea no deben soportar sobre cargas.

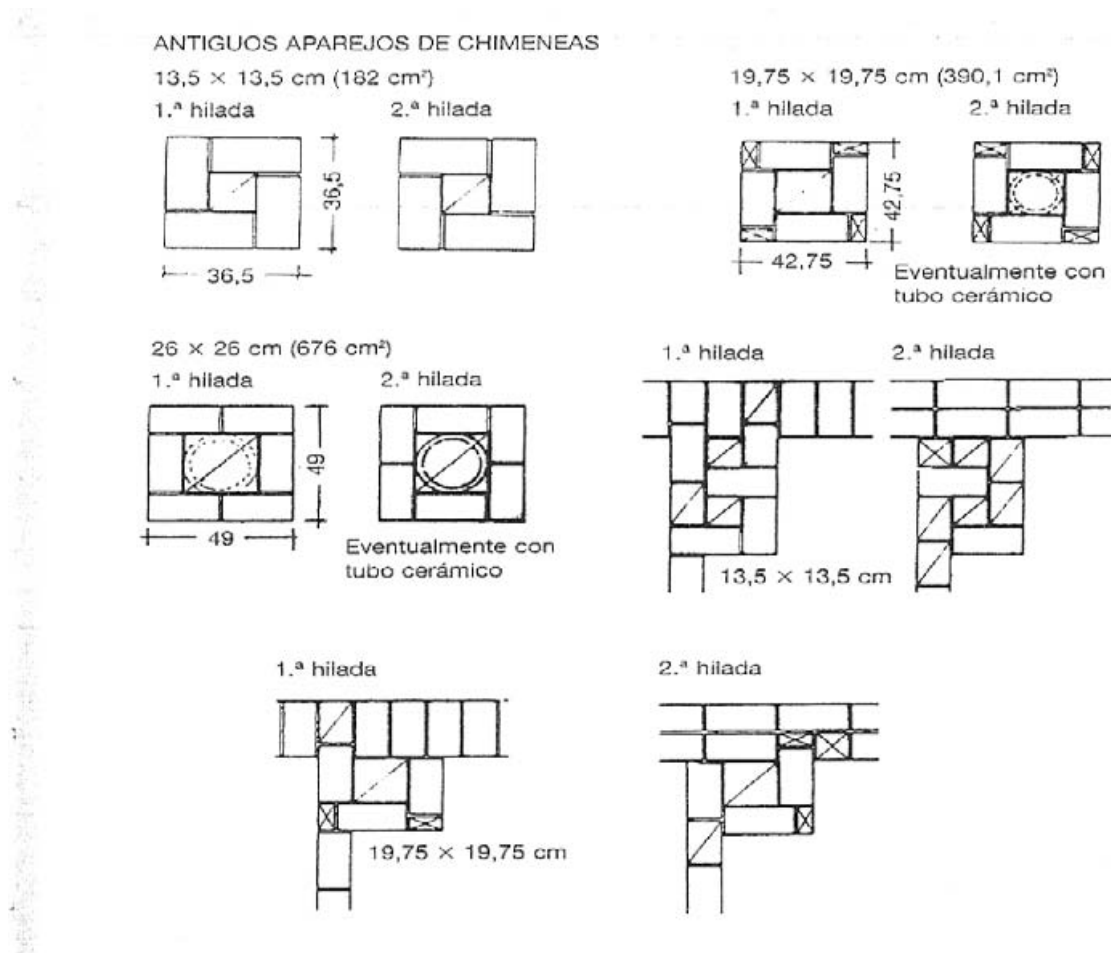


Figura nº 5: Antiguos aparejos de chimeneas.

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.2.- Chimeneas de una hoja, de piezas prefabricadas

En las pocas chimeneas de una hoja que aún se construyen en la actualidad se emplean piezas prefabricadas de hormigón ligero. Estas piezas se construyen con una altura de 33cm. hasta 3 mt. (altura de una planta), el espesor mínimo de sus paredes es de 10cm.

Igual que las chimeneas de obra de fábrica, las chimeneas de una hoja de piezas prefabricadas han perdido importancia, ya que no pueden satisfacer los

requisitos de las modernas instalaciones de combustión. Su campo de aplicación se limita a las chimeneas de emergencia. Cuando atraviesan desvanes ventilados se han de aislar térmicamente para evitar la deposición de hollín. Por el mismo motivo, tampoco se pueden conectar a instalaciones de combustión en las que los gases de escape se desprenden a baja temperatura.

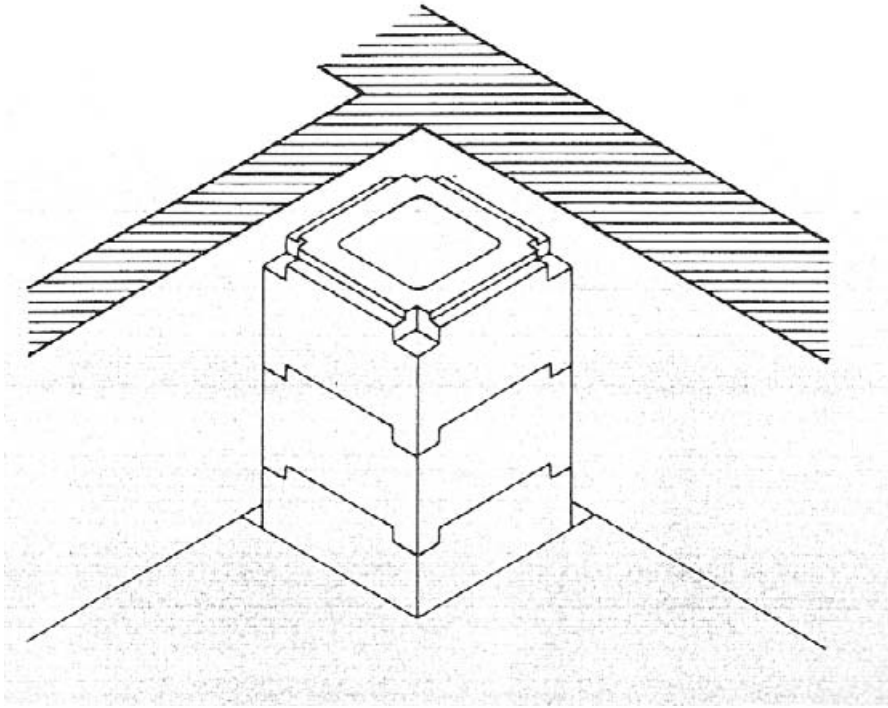


Figura nº 6: chimenea de una hoja de pieza prefabricada

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

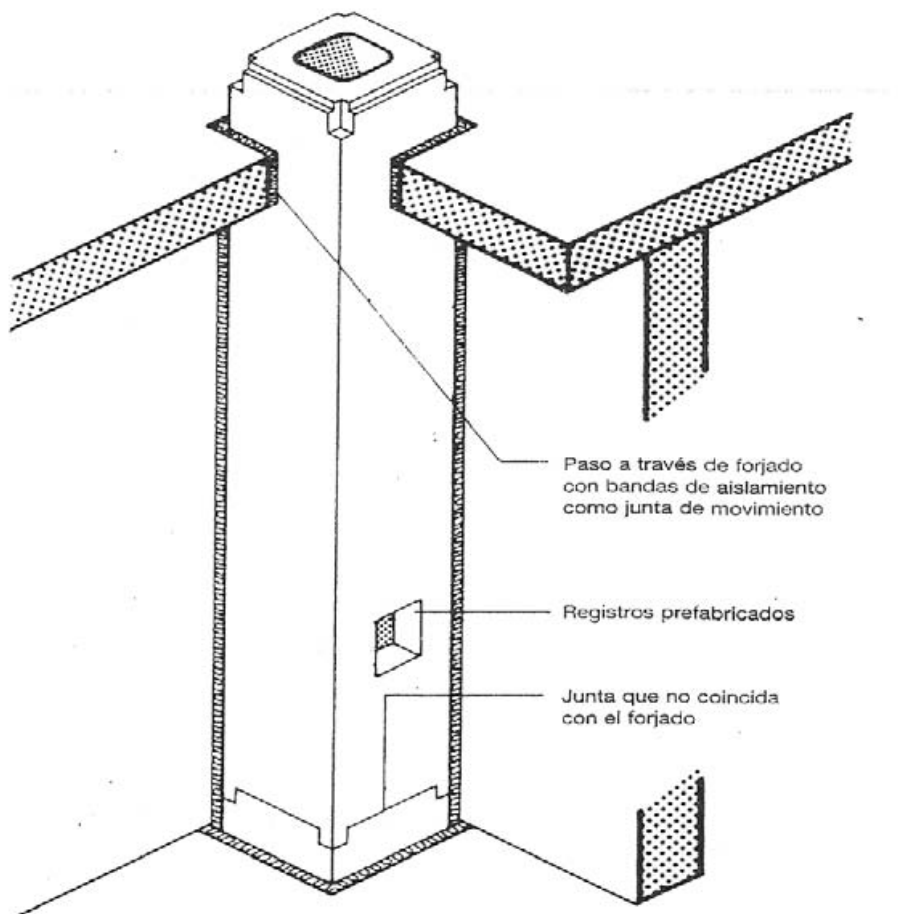


Figura nº 7: Chimenea de una hoja de una planta de altura. Piezas prefabricadas de hormigón especial

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.3.- Chimeneas de varias hojas, de piezas prefabricadas

En las chimeneas de una hoja, un mismo material satisface, mejor o peor, todos los requisitos. Pero, debido a las modernas instalaciones de combustión con desprendimiento de gases de escape a bajas temperatura, crece el peligro de que se condensen ácidos en las paredes de la chimenea; esto puede evitarse colocando un aislamiento térmico en las paredes de la chimenea que, de todas maneras deberían ser resistentes a los ácidos.

Las funciones de la chimenea se reparten entre: 1.-Capa interior, 2.-Aislamiento térmico y 3.-Revestimiento exterior.

1.-Capa interior:

Esta formada por tubos resistentes a los ácidos de acero inoxidable o refractarios y ha de tener una superficie lo más lisa posible. Las piezas del tubo están provistas con ranuras de ajuste y se sellan con un material especial, para evitar la fuga de gases y/o el ingreso de aire que reduce la efectividad de evacuación de la chimenea.

2.-Aislamiento térmico:

El espacio entre tubo interior y revestimiento exterior se rellena con un aislante térmico, generalmente piezas conformadas de lana mineral, que no es combustible y posee una elevada estabilidad de forma. Los elementos de aislamiento térmico han de fijarse de manera que no impidan el movimiento longitudinal del tubo interior.

También pueden colocarse materiales aislantes, por ejemplo, arcilla expandida a la que, sin embargo, se ha de añadir un aglomerante para obtener una capa aislante cuya forma sea estable pero no impida el movimiento longitudinal de tubo interior. Un vertido suelto de material aislante no está permitido, ya que en caso de fisurarse el cubo de salida de humos podría filtrarse y llegar a taponarlo.

3.-Revestimiento exterior:

La capa exterior hace de revestimiento protector de la chimenea, garantiza su estabilidad estructural y la protección contra incendio, la propagación de fuego entre plantas o a los espacios adyacentes. Los ladrillos de revestimiento suelen ser de teja machacada, pómez y arcilla expandida.

Al construir la chimenea se alterna la colocación de tubo interior y el revestimiento exterior en media altura.

En la ejecución de la cabeza de la chimenea se ha de tener en cuenta que el tubo interior debe tener suficiente libertad de moviendo debajo de la cubrición de la chimenea. Se consideran unos 2mm. por cada metro de chimenea.

Existen tantas secciones de chimeneas de dos y tres hojas, que pueden adaptarse al tamaño de la instalación de calefacción de manera óptima, es decir,

coincidir con el diámetro óptimo calculado para el conducto de salida de humos. Los fabricantes, evidentemente, también suministran todas las piezas especiales, incluso para las instalaciones con tramos horizontales de extracción de humos.

En las chimeneas de varios conductos, para los que no existen piezas prefabricadas de revestimiento, la hoja exterior se construye con obra de fábrica de ladrillo, placas de pómez, hormigón u hormigón armado. El espacio entre los tubos y el revestimiento exterior se suele rellenar con grava aislante y cemento, que, además, mantiene los tubos en su posición exacta.

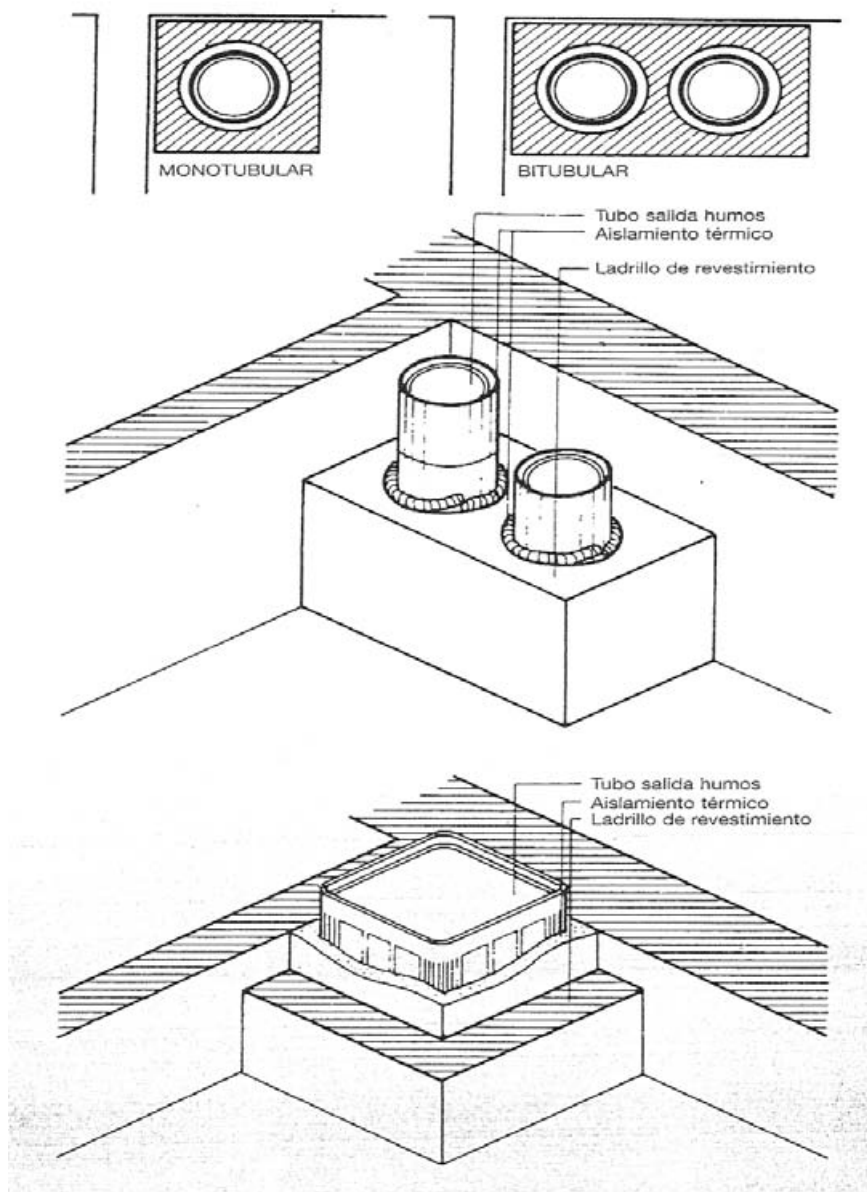


Figura nº 8: Chimeneas de varios conductos

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.4.- Chimeneas de varias hojas resistentes a la humedad

Debido a la creciente optimización de las instalaciones de combustión, las temperaturas de los gases de escape se mueven en un nivel tan bajo, que se ha de partir del supuesto de que se producirán condensaciones en el tubo de salida de los humos. Como el agua condensada de los gases producidos durante el proceso de combustión contiene ácido sulfúrico y ácidos clorhídricos, el tubo de salida de humos ha de ser resistente a los ácidos y el conjunto de la chimenea ha de ser resistente a la humedad; con ello pueden producirse condensaciones sin afectar a la chimenea.

Se distingue entre dos tipos de chimeneas resistentes a la humedad:

- Chimeneas de varias hojas con aislamiento térmico y ventiladas.
- Chimeneas de varias hojas con aislamiento térmico y tubo interior vidriado.

Ambos sistemas constructivos también aparecen en la ejecución, por ejemplo, de paredes y cubiertas y siguen también los mismos principios.

En las chimeneas ventiladas el tubo interior es refractario y poroso de forma que puede absorber las condensaciones y eliminarlas hacia el interior cuando se apaga la instalación de combustión; actúa como amortiguador de humedad.

Como una determinada cantidad de humedad puede llegar hasta el aislamiento térmico a través del tubo interior, se garantiza una ventilación para eliminar la posible humedad en la cara exterior del tubo. La aportación de aire se realiza a través de aberturas de entrada de aire en el ladrillo interior del revestimiento, cuya forma también permite recoger y extraer al exterior el vapor condensado. La ejecución óptima consiste en una chimenea con tubo interior vidriado y ventilada, ya que ofrece doble seguridad. El vidriado de la cara interior del tubo de salida de humos impide el paso de humedad hacia el exterior del tubo y la ventilación posterior elimina la humedad que haya podido filtrarse por las juntas.

En las chimeneas con tubo interior vidriado y sin ventilación, el vidriado interior hace prácticamente de barrera contra el vapor, por lo tanto, se puede suponer

que es imposible que llegue humedad hasta el aislamiento térmico. El único punto débil de este sistema son las juntas del tubo de salida de humos, que se han de sellar cuidadosamente con un mortero especial de rejuntado.

En las chimeneas resistentes a la humedad se recoge el vapor condensado en el zócalo inferior y se conduce a la red de evacuación a través de un tubo flexible resistente a los ácidos. La evacuación directa sólo está autorizada en calderas de gas, en las calderas de fuel-oil se ha de colocar un neutralizador, que garantice, como mínimo un pH de 6,5.

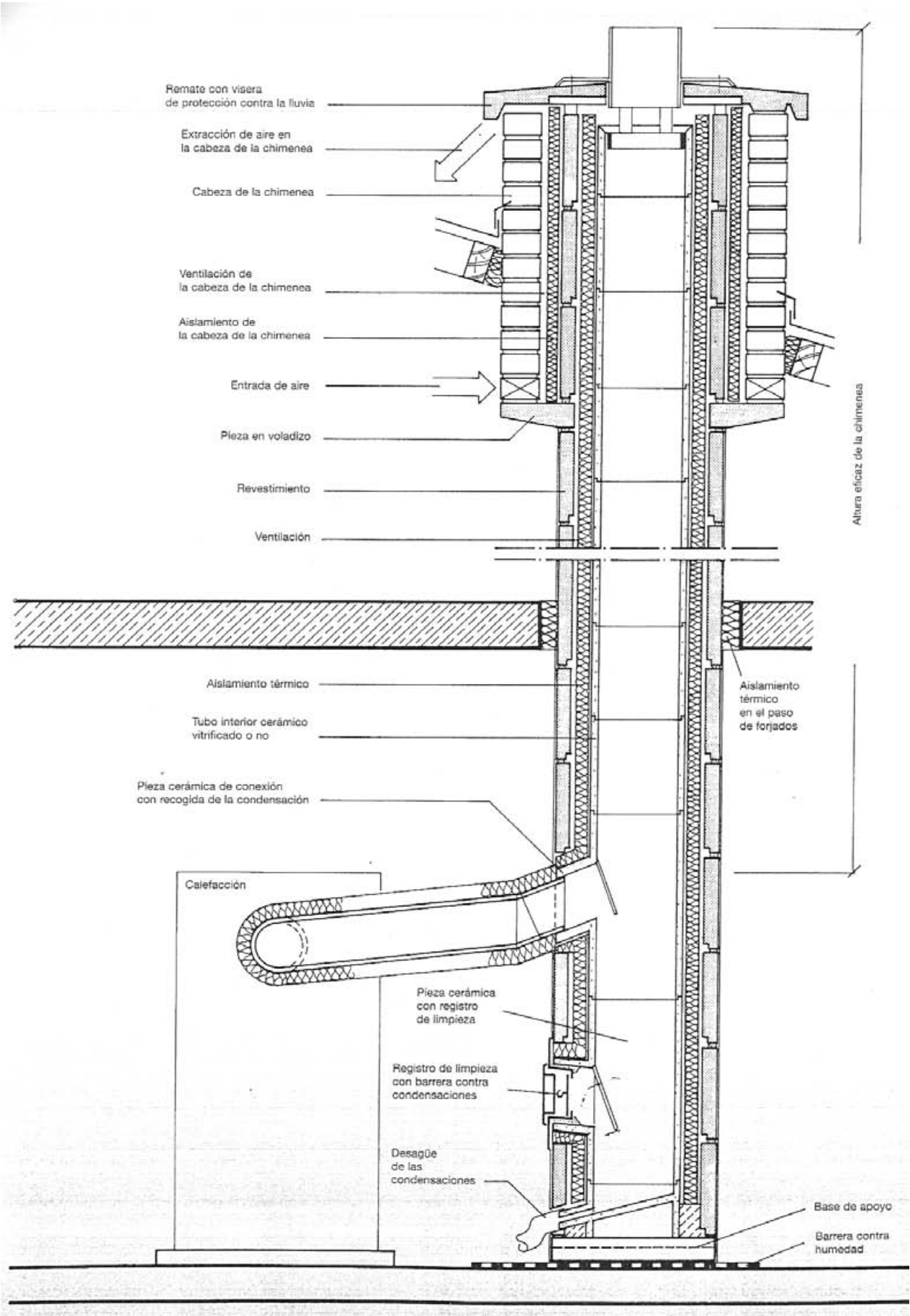


Figura nº 9: Chimenea resistente a la humedad.

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.2.5.- Chimeneas aisladas

Dejando aparte el caso de las chimeneas industriales, es usual que se construyan casas de viviendas, colegios y otros tipos de edificios con chimeneas exteriores. Algunas veces estas chimeneas aisladas son muy ventajosas para la planta, y en las construcciones planas y extendidas pueden proporcionar el deseado elemento vertical.

Contrariamente a las chimeneas situadas en el interior del edificio, las chimeneas aisladas pueden funcionar con sobrepresión, de modo que existe una cierta libertad al determinar la altura. Una chimenea con una buena acumulación térmica es ventajosa para mantener un tiro uniforme. Así pues, la tradicional obra de fábrica puede emplearse tanto para las chimeneas como para las paredes interiores y exteriores.

Sin embargo, la chimenea de las modernas instalaciones de combustión está formada, como mínimo, por dos capas: el tubo de salida de humos y el revestimiento; al menos el tubo de salida de humos es de sección circular.

La sección circular representa una ventaja respecto a la cuadrada en cuanto a posibles deflagraciones por su mejor comportamiento tensional.

A causa del movimiento continuo del tubo (dilatación y contracción en altura y sección), éste debe ser móvil, pero manteniéndose lo mas excelentemente posible en su posición, ya que la mas pequeña desviación de la vertical puede causar un considerable aumento en la presión de la junta de asiento de los elementos de pared delgados.

Cuando la envolvente sirve de estructura sustentable contra los esfuerzos del viento, su dimensionado debe ser realizado por un especialista en estática. Esta envolvente puede ejecutarse, además, si se quiere, como aislamiento térmico y resistente a la intemperie. Son posibles las construcciones macizas como obra de

fábrica, hormigón o piezas prefabricadas de hormigón, al igual que entramados metálicos con revestimientos ligeros.

El mantenimiento requiere la previsión de escalas, dispositivos de agarre y plataformas de trabajo. Finalmente debe concederse importancia la protección contra los rayos, ya que estas chimeneas normalmente están muy expuestas.

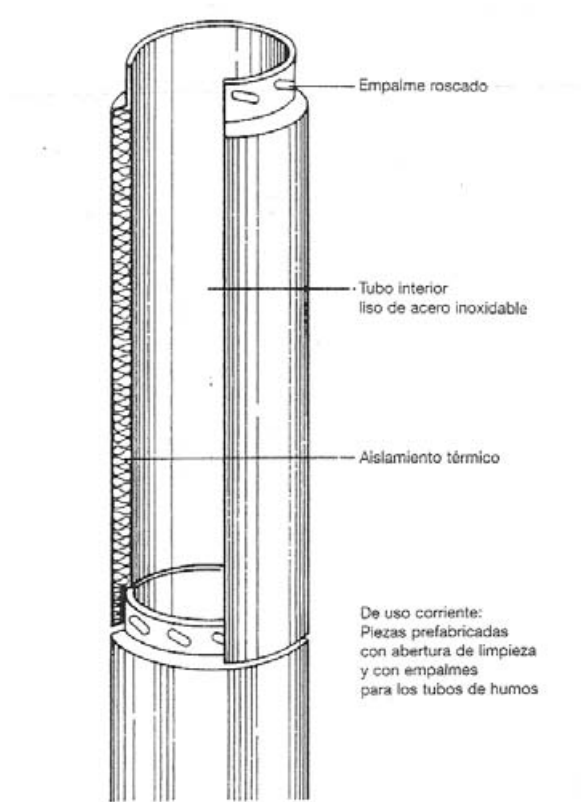


Figura nº 10: Chimenea de pared doble de acero inoxidable, piezas prefabricadas roscadas a prueba de gases.

Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

4.3.- CABEZAS DE LA CHIMENEA

Al ganar altura, los humos se enfrían. En la calefacción de fuel-oil que siempre tiene un contenido más o menos grande de azufre, puede descender la temperatura eventualmente por debajo del punto de condensación.

La temperatura de condensación depende en cada caso del contenido de azufre del fuel-oil y del exceso de aire, y por lo tanto no puede determinarse con exactitud. El peligro de la posible formación y expulsión de gases que contienen

ácido sulfuroso o ácido sulfúrico aumenta, pues, con el incremento en altura de la chimenea.

Precisamente por ello debe exigirse que el material de la cabeza de la chimenea sea resistente a los ácidos y tenga un poder higroscópico muy pequeño, como por ejemplo, el material refractario o el acero inoxidable. Para proteger a la construcción misma y al medio ambiente, la chimenea debe ejecutarse con suficiente altura para sobresalir de la cubierta o de los edificios vecinos. La velocidad de salida se reduce al aumentar la altura de la chimenea, con el creciente enfriamiento de los gases y también al aumentar la temperatura exterior. Las exigencias de las autoridades de control respecto a la altura de las chimeneas, por encima de la cubierta y respecto a la velocidad de salida, son, necesariamente más duras al aumentar el contenido de azufre y por lo tanto el peligro de contaminar el medio ambiente.

Si no se puede, o no se quiere, hacer llegar la chimenea y la salida de humos a suficiente altura sobre la cubierta, de modo que las plantas superiores queden preservadas de los gases sulfúricos, se intentará aumentar la velocidad de salida de los gases. La solución más fácil para ello es estrechar el extremo del tubo de humos, es decir, disponer una tobera. Sin embargo, existe entonces el peligro de que se produzcan presiones dinámicas en la parte superior de la chimenea. Por estas posibles presiones dinámicas, algunas autoridades no permiten el empleo de dichas toberas.

Otra posibilidad de aumentar la velocidad de salida de los humos es la disposición de un ventilador (tiro por aspiración) en la cabeza de la chimenea. Este ventilador se acoplará en caso de calefacción intermitente. Aunque su coste es reducido, su funcionamiento está, sin embargo, sujeto a averías, como ocurre con todos los aparatos técnicos. En el remate de la chimenea también debe tenerse en cuenta la dilatación térmica del tubo de humos. Sin embargo, en las calefacciones

intermitentes, y por el mayor enfriamiento de los gases a medida que aumenta la altura, esta dilatación nunca alcanza el valor calculado. Por la experiencia, basta contar con 1mm. por cada metro de altura. Estas variaciones de longitud habrán de considerarse en la ejecución de la cabeza de la chimenea y para los posibles remates.

Influencia del ángulo de incidencia del viento en el tiro de la chimenea:

- Viento ascendente -10° : aspiración hasta aproximadamente 2,5mm. columna de agua.
- Viento horizontal: aspiración hasta aproximadamente 1,8mm. columna de agua.
- Viento descendente $+12^{\circ}$: sobrepresión (puede evitarse mediante remate de chimenea).

Las chimeneas situadas en el interior de la construcción y que no pueden construirse sin juntas, siempre tienen que funcionar con presión negativa, con el fin de evitar que los gases de los humos penetren en el edificio.

En las calefacciones de fuel-oil con sobrepresión la aspiración necesaria para el proceso de combustión se produce mediante unos ventiladores acoplados con el quemador.

4.4.- CONDUCTOS HORIZONTALES DE EXTRACCIÓN DE HUMOS

En las grandes instalaciones de calefacción que suelen tener varias calderas, éstas casi nunca se pueden conectar directamente a las chimeneas (lo que seria mejor solución), en parte por la separación de las calderas, en parte por las limitaciones de la planta existente.

La posible sobrepresión en los tramos horizontales de extracción de humos se ha de regular de manera que se reduzca hasta “cero” a la entrada de la chimenea. Se instalan calderas de sobrepresión cuando hay limitaciones de espacio. Tienen la

ventaja de ocupar un 20 % menos de superficie que una caldera convencional (debido al desvío de la llama de combustión). Al ordenar en planta una instalación de calefacción con tramos horizontales de conexión a las chimeneas, se ha de intentar que éstos sean lo mas cortos posible. Como máxima longitud se considera el 25 % de la altura de la chimenea desde la entrada de la conexión a la chimenea. Sin embargo esta proporción no es válida para cualquier altura de chimenea. Las conexiones horizontales sólo pueden tener más de 8 mt de longitud en casos excepcionales. Casi siempre hay que realizar algún codo. Para no reducir excesivamente el tiro, se han de evitar los giros agudos y se ha de intentar que sean lo más esbeltos posibles. Las conexiones más largas se realizan con una pendiente de aproximadamente 10 % y se introducen en la chimenea a 45°.

Lo mejor es elegir una sección de igual forma que la chimenea pero un 25 % mayor. En los conductos rectangulares de las calefacciones de carbón y coque se elegía una anchura igual al de la chimenea pero una altura algo mayor. En las actuales chimeneas de sección circular, los tramos de conexión tambien suelen ser circulares.

Si los tramos de conexión horizontales son lineales, no son relativamente largos y no están enterrados, lo mejor es construirlos con acero. En los tramos de conexión más largos con varios giros es preferible emplear piezas refractarias prefabricadas. En las calefacciones de carbón y coque, las conexiones horizontales eran de obra de fábrica y tenían una compuerta para regular el tiro.

Todos los tramos horizontales de conexión han de tener, como mínimo, un registro de limpieza en el final. Los tramos de mayor longitud de ladrillo refractario han de tener registros de limpieza cada 3 mt. como máximo.

A diferencia de las chimeneas, en las que la temperatura ambiental anual media es de aproximadamente 293 K (20°C), los tramos de conexión horizontal suelen estar completa o parcialmente enterrados. El subsuelo, sin embargo, sólo

tiene una temperatura anual de 280 K (7°C). Un enfriamiento de los gases de escape, ya en el tramo horizontal, es bastante perjudicial. Por consiguiente, todos los tramos horizontales deberían tener un aislamiento térmico reforzado.

La construcción y el dimensionado de una instalación compleja de conexiones horizontales exigen un saber técnico y una experiencia que sólo poseen los especialistas. (Heinrich – Schmitt, 1998).

4.5.- PRODUCCIÓN DE TIRO

El tiro tiene por objeto llenar las tres funciones sucesivas siguientes:

- A. Hacer llegar al combustible la cantidad de aire necesaria para la combustión.
- B. Obligar a los gases de la combustión a recorrer los distintos conductos y cámaras de la batería de calderas.
- C. Evacuar los humos al abandonar la instalación de las capas altas de la atmósfera y repartirlos de manera que se eviten en lo posible molestias para el vecindario.

Cuando el aire de combustión se hace llegar como viento inferior (tiro por insuflación) desaparece la primera función. La importancia de la repartición en las capas altas de la atmósfera no debe, sin embargo, perderse de vista aun cuando se haga uso de tiro artificial, y exige una determinada altura mínima de la chimenea sobre el terreno.

El tiro se mide en milímetros de columna de agua ($= \text{Kg} / \text{m}^2$) y al proyectar una instalación se fija el valor del tiro necesario en diferentes puntos, tanto encima de la parrilla como también al final de la caldera, o del economizador, o del calentador de aire. Es, sin embargo, conveniente considerar la batería de calderas en conjunto y partir, para efectuar el cálculo, del tiro disponible al pie de la chimenea o en la entrada del conducto de humos de la chimenea (o de la presión disponible, si es tiro inducido).

El tiro necesario Z se compone de las distintas resistencias W de la instalación total y es:

$$Z = Z_{\text{sobre la parrilla}} + W_{\text{caldera}} + W_{\text{economizador}} + W_{\text{calentador de aire}} + W_{\text{conductos de humos}} + W_{\text{registros, compuertas, etc.}}$$

Además se verifica:

$$Z_{\text{sobre la parrilla}} = W_{\text{capa de combustible}} + W_{\text{parrilla}} + W_{\text{aceleración aire}}$$

Da para instalaciones corrientes los valores de la tabla siguiente (tomados de la práctica para el caso de cargas normales) como intensidades de tiro necesarias.

Combustible	Sobre la parrilla mm de agua	Al final de la caldera mm de agua
Hulla	3 – 5	12 – 18
Lignito de primera	8 – 10	18 – 22
Lignito inferior	10 – 12	20 – 25

Tabla nº 4: Intensidades de tiro necesarias para instalaciones

Fuente: Hütte, 1957. Producción de tiro, Tomo II.

La intensidad del tiro depende en gran escala del sistema de construcción de la caldera, de la dirección y disposición de los conductos de fuego, y del combustible; los valores que anteceden no pueden, por lo tanto tener una validez general y sólo deben considerarse como puntos de partida.

Cuanto más fino es el grano y más aglutinante es un combustible tanto mayor es el tiro necesario sobre la parrilla; lo mismo ocurre cuando el carbón se encuentra en capas gruesas. En las instalaciones de gran potencia hay que añadir hasta 20mm. para el economizador y el calentador de aire. Con un economizador de tubos lisos el tiro necesario es menor que con un calentador de tubos de aletas. En el primer caso, la perdida de tiro alcanza de 3 a 6mm. y en el segundo de 6 a 10mm.

Para el cálculo debe partirse de la potencia más elevada que pueda presentarse (“picos de cargas”) y tenerse también en cuenta los aumentos de potencia que se hayan previstos para más adelante.

Las compuertas no herméticas y las mamposterías no estanca obran perjudicialmente sobre el tiro, pues permite la entrada de aire frío, cargan más la chimenea y rebajan la temperatura que produce la fuerza ascensional.

Producción de tiro:

- Como “tiro natural” por medio de una chimenea.
- Como “tiro artificial” por medio de maquinas soplantes.

(Hütte, 1957. Pág. 471-472).

CAPITULO V

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS, DISEÑO Y MONTAJE

5.1.- SÍMBOLOS, DEFINICIONES Y UNIDADES DE MEDIDA

Con el fin de facilitar la interpretación de las ecuaciones empleadas en esta tesis, los símbolos, definiciones y unidades de medida de cada magnitud se indicarán en el lugar adecuado. (La metodología expresada en el capítulo V está basada esencialmente en la norma española UNE 123-001-94. (AENOR, 2003).

Por definición, una chimenea esta constituida por los tramos horizontales y verticales de una conducción para la evacuación de los productos de la combustión de un generador de calor.

Los subíndices empleados tienen el siguiente significado:

- a aire.
- h humos (productos de la combustión).
- i interior.
- X exterior.

- e entrada.
- s salida.
- m medida (en una sección, y entre entrada y salida de una chimenea).

Salvo en los siguientes casos:

- D_h representa el diámetro hidráulico (m), igual a cuatro veces el área de la superficie transversal del conducto dividido por el perímetro.
- ϵ_e representa el espesor equivalente de un material con sección en forma de corona circular (mm).
- f_e representa el factor de enfriamiento de los gases (adimensional).

La letra N_3 delante de una unidad de medida volumétrica (normalmente m^3) significa en condiciones normales que, en esa norma, se dan a 20°C y 1,013bar (1 bar = 100.000 Pa).

Los caudales másico y volumétrico de un gas se representarán con las letras: $\dot{m}$ y $\dot{v}$.

La aceleración de la gravedad, igual a $9,81 \text{ m/s}^2$, se representará mediante la letra g.

Con la notación “ln” se representará el logaritmo neperiano y con la notación “log” se representará el logaritmo en base 10.

5.2.- GENERALIDADES

La función de una chimenea es canalizar los productos de la combustión de generadores de calor hacia el exterior.

Las chimeneas no podrán ser utilizadas para fines diferentes ya indicadas, ni podrán ser atravesadas por elementos ajenos al propio sistema de evacuación de humos.

5.3.- DATOS DE PROYECTO

Los datos necesarios para proceder al cálculo de la sección de una chimenea o, alternativamente, a la comprobación de un sistema existente con condiciones de funcionamiento diferentes, son los siguientes:

- Características geométricas del trazado de la chimenea (longitud, tipo y número de piezas especiales, limitaciones en altura y ancho).
- Materiales de constitución de la chimenea y sus características térmicas (conductividad a la temperatura media de funcionamiento y espesor) e hidráulicas (rugosidad).
- Altitud sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento de la central térmica (o presión barométrica).
- Temperatura seca del aire del ambiente exterior, como media de las máximas durante el periodo de funcionamiento de la central.
- Dirección de los vientos predominantes, con el fin de posicionar correctamente la boca de salida de la chimenea.
- Característica del combustible empleado (poder comburívero, poder fumígeno, poderes caloríferos inferiores y superiores).
- Potencia térmica útil del generador y rendimiento (por generador entenderemos el conjunto formado por la caldera y los quemadores).
- Caudal másico de los productos de la combustión.
- Temperatura de los gases de combustión a la salida del generador.
- Contenido de anhídrido carbónico de los gases.
- Presión disponible a la salida del generador (negativa, nula o positiva).

La potencia útil, el rendimiento, la temperatura de los gases, el contenido de CO_2 y la presión disponible son datos que debe suministrar el fabricante del generador y/o quemador. El caudal másico podrá ser calculado como se indicará mas adelante o podrá ser también un dato suministrado por el fabricante.

Si la chimenea es de tipo prefabricado, el fabricante de la misma deberá suministrar la resistencia térmica de su pared (es decir, sin considerar los coeficientes superficiales de transmisión de calor, interior y exterior), a diferentes temperaturas, así como la rugosidad de la pared interior.

En el caso, no recomendado, de que la chimenea este al servicio de más de un generador, la potencia a considerar en los cálculos será la suma de las potencias de los generadores.

Cuando sea previsible el uso de dos combustibles, líquido y gaseoso generalmente, el cálculo de la chimenea se llevará a cabo para los dos combustibles, se adoptara la sección más grande resultante de los cálculos y se hará la comprobación con el otro combustible.

5.4.- CAUDAL DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

El caudal másico de los productos de la combustión podrá calcularse, con muy buena aproximación, mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m} = 1,2 \cdot (PF + e \cdot PC) \cdot \frac{P}{\eta \cdot PCI} \dots\dots\dots(Ec.1)$$

Donde:

- $\dot{m}$ Es el caudal másico, expresado en Kg./s.
- PF Es el poder fumífero (cantidad de gases resultante de la combustión con aire estequiométrico de una unidad de masa o volumen de combustible, referida a las condiciones normalizadas), medido en Nm³/Kg. o Nm³/Nm³, según se trate de combustible líquido o sólido o bien gaseoso, respectivamente.
- PC Es el poder comburífero (cantidad estequiométrica de aire seco necesario para la combustión completa de una unidad de masa o volumen de combustión, referidas a las condiciones normalizadas), medido en Nm³/Kg. o Nm³/Nm³,

según se trate de combustible líquido o sólido o bien gaseoso, respectivamente.

η Es el rendimiento total del generador, referido al PCI del combustible (adimensional).

PCI Es el poder calorífico inferior del combustible, medido en kJ / Kg. o kJ/Nm³ según se trate de combustible líquido o sólido o bien gaseoso, respectivamente.

P Es la potencia térmica útil del generador, expresada en kW.

e Es el exceso de aire que se calcula con la expresión:

$$e = \frac{(\text{CO}_{2 \text{ máx.}})}{(\text{CO}_2)} - 1 \cdot C_C \dots \dots \dots (\text{Ec.2})$$

Donde:

CO_{2 máx.} Es el contenido máximo teórico de dióxido de carbono en los humos, que depende del tipo de combustible.

CO₂ Es el contenido medio de dióxido de carbono en los humos, que depende del régimen de funcionamiento del generador.

C_C Es un coeficiente corrector del exceso de aire.

Para hallar el caudal volumétrico de los productos de la combustión, en m³/ s, se dividirá el caudal másico, expresado por la ecuación (1), por la densidad media de los humos, oportunamente corregida por temperatura y altitud:

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho_{hm}} \dots \dots \dots (\text{Ec.3})$$

Donde: la densidad media de los humos, en kg / m³, es:

$$\rho_{hm} = \frac{101325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_{hm}} \dots \dots \dots (\text{Ec4})$$

Donde:

A Es la altitud sobre el nivel del mar, expresada en (m).

R Es la constante de elasticidad de los humos, expresada en J/ (kg · K).

T_{hm} Es la temperatura media de los humos, en K.

La constante de elasticidad de los humos, definida como relación entre la constante universal de los gases y el peso medio ponderal molecular del gas, se indica en el anexo A.

5.5.- TEMPERATURAS DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Conocida la temperatura de entrada de los humos en un tramo de una chimenea T_{he} , pueden calcularse la temperatura a la salida del tramo en cuestión T_{hs} y la temperatura media T_{hm} en el tramo, mediante las ecuaciones:

$$T_{hs} = T_a + (T_{he} - T_a) \cdot e^{-f_e} \dots\dots\dots (Ec.5)$$

$$T_{hm} = T_a + \frac{T_{he} - T_a}{f_e} \cdot (1 - e^{-f_e}) \dots\dots\dots (Ec.6)$$

Donde: las temperaturas pueden expresarse en k o en °C.

El factor de enfriamiento f_e se calcula con:

$$f_e = \frac{U \cdot S_i}{C_p \cdot m} \dots\dots\dots (Ec.7)$$

Donde:

- U Es el coeficiente global de transmisión de calor de la pared de la chimenea, expresado en $W/(m^2 \cdot K)$.
- S_i Es el área de la superficie interior de la chimenea, en m^2 .
- C_p Es el calor específico a presión constante de los humos, expresados en $J/(kg \cdot K)$, que puede calcularse por medio de las ecuaciones indicadas en el anexo B.6 mas adelante en función de la temperatura media y del contenido de CO_2 de los humos.

5.6.- COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El coeficiente global de transmisión de calor de la pared de la chimenea se calcula mediante la conocida expresión:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]} \dots\dots\dots (Ec.8)$$

En la que los distintos parámetros se calculan como se indican en los siguientes apartados:

5.6.1.- Coeficiente superficial interior h_i :

h_i Coeficiente superficial interior, expresado en $W/(m^2 \cdot K)$, se calcula con la ecuación:

$$h_i = \frac{\lambda_h \cdot N_u}{D_{hi}}$$

Donde:

λ_h Es la conductividad térmica de los humos [$W/(m \cdot K)$] que, con buena aproximación, podrá calcularse con la ecuación:

$$\lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{hm} - 273).$$

N_u Es el número de Nusselt (adimensional), función del coeficiente de fricción, el número de Prandtl, la esbeltez de la chimenea y la viscosidad dinámica del gas, que puede calcularse con la expresión:

$$N_u = 0,0354 \cdot a \cdot (Re^{0,75} - 180)$$

El coeficiente “a” (adimensional), función de la rugosidad del material “r”, expresada en (mm), vale:

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2$$

El número de Reynolds (adimensional), se calcula:

$$Re = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c}$$

Donde:

v Es la velocidad media de los humos en la chimenea (m/s), que se calcula dividiendo el caudal volumétrico por el área de la sección transversal.

D_{hi} Es el diámetro hidráulico interior (m).

v_c Es la viscosidad cinemática de los gases (m^2/s), se calcula con el polinomio:

$$v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2$$

La ecuación que expresa el número de Nusselt es válida para números de Reynolds comprendidos entre 3.000 y 1.000.000. Si del cálculo resultara; $h_i < 5 \text{ W} / (m^2 \cdot K)$, se tomará, $h_i = 5 \text{ W} / (m^2 \cdot K)$.

5.6.2.- Resistencia térmica de la pared R:

La resistencia térmica de la pared de la chimenea R, expresada en $(m^2 \cdot K) / W$, se calcula como suma de la relación entre espesores equivalente del material y conductividad térmica de cada capa que constituye la pared de la chimenea, según la siguiente expresión:

$$R = s \cdot D_{hi} \cdot \sum \left[\frac{1}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \left(\frac{D_{hin} + 2 \cdot \epsilon_n}{D_{hin}} \right) \right]$$

Donde:

El subíndice “n” indica los valores de la capa enésima, mientras que el coeficiente “s” depende de la forma de la sección y vale:

Sección	S
Circular	1
Cuadrada	1,27
Rectangular ¹⁾	1,3

¹⁾ con relación de los lados $\leq 1,5$.
Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.
Tabla nº 5: Coeficiente de forma de sección.

5.6.3.- Coeficiente superficial exterior h_x :

Este coeficiente puede tomarse igual a $8W / (m^2 \cdot K)$ para chimeneas situadas al interior y $25W / (m^2 \cdot K)$ para chimeneas situadas al exterior del edificio. En caso de chimeneas que discurran en parte por el interior y en parte por el exterior, el

coeficiente h_x se calculará como media ponderal en base a las superficies interior y exterior.

La resistencia superficial exterior $1/h_x$ está multiplicada por la relación de diámetros hidráulicos interior y exterior para referirla a la superficie interior de la chimenea.

5.6.4.- Coeficiente β .

Las ecuaciones anteriores son válidas para un régimen permanente de temperaturas; para poderlas emplear también, para el caso de régimen no permanente, que es debido a la regulación del quemador, por escalones o modulante, el coeficiente β tomara según los casos, el siguiente valor:

Chimenea	Todo – nada	Todo-poco-nada	Modulante
Metálica	0,5	0,6	0,8
De obra	0,8	0,85	0,9

Tabla nº 6: Coeficiente β .

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

En caso de funcionamiento en régimen estacionario se tomará “ β ” igual a la unidad.

5.6.5.- Diámetros hidráulicos.

Los diámetros hidráulicos se calcularán de acuerdo a la definición, mediante las siguientes expresiones:

- Para chimeneas circulares: $D_h = D$.
- Para chimeneas rectangulares de lados a y b: $D_h = 2 \cdot a \cdot b/(a+b)$.
- Para chimeneas cónicas de diámetros D_s y D_e :

$$D_h = [2 \cdot D_e^4 \cdot D_s^4 / (D_e^4 + D_s^4)]^{1/4}.$$

5.7.- CAÍDAS DE PRESIÓN POR RESISTENCIA AL MOVIMIENTO

La caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en las chimeneas, expresadas en Pa (N/m²), se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta p = [\sum [\rho_{hm} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot (f \cdot \frac{L}{D_{hi}} + \sum \xi)] + \Delta p_d] \cdot f_s \dots\dots\dots(Ec.9)$$

En la que el primer sumatorio se refiere a los diferentes tramos de la chimenea.

En la ecuación anterior los diferentes parámetros que entran en juegos tienen el siguiente significado:

ρ_{hm} Es la densidad media de los humos (kg/m³) en el tramo considerado, que se calculará con la ecuación (4).

v_m Es la velocidad media de los humos (m/s) en le tramo considerado, que se calcula mediante la ecuación:

$$v_m = \frac{\dot{m}}{\rho_{hm} \cdot S}$$

Siendo S el área de la sección transversal de la chimenea (m²).

f Es el factor de fricción, que podrá obtenerse, de forma exacta, de la ecuación de Colebrook o, también, con su suficiente precisión, mediante ecuaciones aproximadas de solución directa en función de la rugosidad de la superficie interior “r” (mm), del diámetro hidráulico “D_h” (m) y del número de Reynolds “Re”(adimensional). Una expresión muy simple, válida para rugosidades entre 0,5 mm. y 5 mm. y números de Reynolds entre 3.000 y 1.000.000, es la siguiente:

$$f = 0,118 \cdot \frac{r^{0.25}}{D_{hi}^{0.40}}$$

En el anexo C.7 se indican las rugosidades medias de algunos materiales empleados en la fabricación o construcción de chimeneas.

L Longitud del tramo considerado (m).

- D_{hi} Es el diámetro hidráulico de la chimenea (m).
- $\sum \xi$ Es la suma de los coeficientes de las pérdidas de presión localizadas (adimensional) (véase anexo C).
- Δp_d Es la variación de presión dinámica desde la entrada a la salida de la chimenea que se halla mediante la expresión:

$$\Delta p_d = \rho_{hm} \cdot \frac{v_{ms}^2 - v_{me}^2}{2}$$

- f_s Es un factor de seguridad que es necesario considerar para tener en cuenta los siguientes factores:

- Imperfecciones en la construcción de la chimenea (medidas transversales, rugosidad media, resistencia térmica y falta de estanqueidad).
- Efectos de condiciones atmosféricas adversas.
- Anormalidades en el funcionamiento del generador de calor (exceso de aire superior al previsto y sobrecargas).

Las imperfecciones en la construcción se reducen al mínimo con el empleo de chimeneas prefabricadas, cuya calidad queda garantizada por el fabricante.

El técnico podrá asumir, a su criterio, un valor del factor de seguridad f_s por el cual multiplicar la Δp , según la circunstancias de la obra. Como guía, se indican los siguientes valores:

- Para conducciones prefabricadas: $f_s = 1,2$
- Para conducciones construidas "in situ":
 - Metálicas: $f_s = 1,3$.
 - De obra: $f_s = 1,5$

5.8.- TIRO TÉRMICO

El tiro térmico (o natural) provocado por la diferencia de densidades entre el gas en el interior de la chimenea y el exterior está dado, en (Pa), por la siguiente ecuación:

$$t = g \cdot H \cdot (\rho_a - \rho_{hm}) \dots \dots \dots (Ec.10)$$

La magnitud H, que es la altura eficaz, representa la distancia vertical entre la salida de humos del generador (su eje, si la boca es vertical) y la boca de salida de la chimenea (véase figura 11). Para el cálculo, la altura H se dividirá en dos partes: H_h para el tramo horizontal (enlace con el tramo vertical) y H_v para el tramo vertical (chimenea propiamente dicha).

5.9.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El procedimiento de cálculo varía según se trate de calcular la sección transversal de una chimenea o comprobar sus medidas.

En lo que sigue se usará las siguientes notaciones:

- ddf dato del fabricante.
- dds dato del suministrador.
- Apartado para facilitar el cálculo, en los apartados de los anexos A, B, C y D se indican unos valores que se tomarán a falta de datos más fiables.

5.9.1.- Cálculo de la sección transversal.

Para el cálculo de una chimenea de evacuación de los productos de la combustión de uno o más generadores de calor se procederá de la manera que se describe a continuación.

5.9.1.1.- Generalidades.

- a. Determinación de la potencia térmica útil del generador (ddf).
- b. Determinación de las características del combustible empleado (dds o anexo A).

- c. Determinación del rendimiento el generador (ddf o anexo B.1).
- d. Determinación el contenido de CO₂ en lo humos (ddf o anexo B.2) y cálculo del exceso de aire mediante la ecuación (2) con el valor del coeficiente corrector indicado en el anexo B.3 o bien determinación directa del exceso de aire (ddf).
- e. Determinación de la temperatura de los humos a la salida del generador (ddf o anexo B.4).
- f. Determinación del caudal másico de los humos mediante la ecuación (1) o ddf.
- g. Determinación de la presión disponible a la salida del generador Δp_{gen} ;
 - generadores con hogar en sobre presión; cero;
 - generadores con hogar en depresión; ddf o anexo B.5.
- h. Determinación de la temperatura del aire exterior T_a de proyecto (véase anexo D) y de la altitud sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento de la central.

5.9.1.2.- Tramo horizontal (enlace generador-tramo vertical)

- a. Determinación de las características geométricas del conjunto (medidas máximas transversales, longitud, números y tipos de piezas especiales y pendiente).
- b. Determinación del nivel de aislamiento térmico (material y espesor) y acabado interior (rugosidad).
- c. Se asumirá, en primera aproximación, una velocidad media de los humos en función del caudal másico de acuerdo a la relación siguiente:

$$v = 7,1 + 2,03 \cdot x + 0,25 \cdot x^2 - 0,526 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 3,109 \cdot 10^{-3} \cdot x^4$$

Donde: $x = \ln \left(\frac{\dot{m}}{m} \right)$

- d. Se asumirá, en primera aproximación, una temperatura media de los humos igual a la de la salida del generador.
- e. En base a la altitud s.n.m. A y la constante de elasticidad de los gases R (véase anexo A), se calcula la densidad media mediante la ecuación (4).
- f. Se calcula el caudal volumétrico mediante la ecuación (3).
- g. Se calcula el área de la sección transversal de la chimenea mediante la expresión:

$$A_s = \frac{\dot{V}}{v}$$

- h. Se determina los lados o el diámetro de la chimenea.
- i. Se calcula el calor específico a presión constante de los humos mediante la ecuación del anexo B.6.
- j. Calcular el coeficiente global de tratamiento de calor U según el procedimiento indicado en el punto 6, asumiendo en primera aproximación, una temperatura media de los materiales de la pared de la chimenea igual a la media aritmética entre temperatura media de los humos y temperatura del aire exterior.
- k. Calcular el área de la superficie de la chimenea S_i .
- l. Calcular el factor de enfriamiento f_e según ecuación (7).
- m. Calcular la temperatura media de los humos T_{hm} en el tramo de conductos en consideración mediante la ecuación (6).
- n. Empezar de nuevo por el punto (e), para obtener, con mayor aproximación, la temperatura media de los humos. Ahora, la conductividad térmica de los componentes de la pared de la chimenea se calculará en base a la temperatura media de cada componente, por vía analítica o grafica, considerando las resistencias parciales de cada capa.
- o. Calcular la temperatura de los humos a la salida de la chimenea T_{hs} mediante la ecuación (5).

- p. Calcular la caída de presión al movimiento de los humos en el tramo horizontal Δp_{hor} según lo indicado en el punto 5.7.
- q. Calcular la densidad del aire exterior según la ecuación:

$$\rho_a = \frac{101325 \cdot (1 - 0,000112 \cdot A)}{R \cdot T_a}$$

Donde, para el aire se asumirá $R = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ y la temperatura T_a (en K) se podrá tomar del anexo D.

- r. Calcular el tiro térmico del tramo horizontal t_{hor} mediante la ecuación (10), donde la diferencia de cota H , igual a H_h , se asumirá positiva para tramo ascendente (de generador a chimenea), negativa para tramo descendente y, obviamente, nula para tramo horizontal. La cota H_h se medirá entre el centro de las secciones de salida y entrada.
- s. La depresión requerida a la base de la chimenea se hallará sumando algebraicamente los siguientes factores:
- La presión a la salida del generador Δp_{gen} , negativa en caso de hogar en depresión y nula para hogares en sobre presión (véase apartado 5.9.1.1, punto g).
 - La caída de presión por resistencia al movimiento Δp_{hor} , negativa por definición (véase 5.9.1.2, punto p).
 - El tiro térmico t_{hor} , con el signo convencionalmente asignado ala cota H_h .

Resumiendo y tomando los valores absolutos de las diferencias de presión antes calculadas, la depresión requerida al final del tramo horizontal o, lo que es lo mismo, a la base de la chimenea es:

$$\Delta p_{req} = \Delta p_{gen} + \Delta p_{hor} \pm t_{hor} \dots \dots \dots (\text{Ec.11})$$

En caso de quemadores de gas atmosféricos, habrá que añadir también la depresión necesaria para conducir el aire comburente al quemador desde el exterior de la sala de máquinas.

El valor resultante de la ecuación (11) se redondeara en exceso.

5.9.1.3.- Tramo vertical.

- a. Determinación de las características geométricas de la chimenea (medidas máximas transversales, altura H_v y número y tipos de piezas especiales).
- b. Determinación del nivel de aislamiento térmico (material y espesor) y acabado interior (rugosidad).
- c. Se elige un área de la sección transversal igual o inferior al tramo horizontal.
- d. Se asume una temperatura media de los humos igual, en primera aproximación, a la salida del tramo horizontal (véase apartado 5.9.1.2, punto o).
- e. Calcular la densidad media de los gases con la ecuación (4).
- f. Calcular el caudal volumétrico mediante la ecuación (3)
- g. Calcular el calor específico a presión constante.
- h. Calcular el coeficiente global de transmisión de calor U según lo indica en el capítulo 5.6.
- i. Calcular el área de la superficie interior de la chimenea S_i .
- j. Calcular el factor de enfriamiento f_e según la ecuación (7).
- k. Calcular la temperatura media de los humos en la chimenea mediante la ecuación (6).
- l. Repetir de nuevo los cálculos desde el punto e.
- m. Calcular la temperatura de los humos a la boca de salida de la chimenea mediante la ecuación (5).
- n. Calcular la caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en la chimenea Δp_{ver} según el procedimiento indicado en el capítulo 5.7.
- o. Calcular el tiro térmico de la chimenea t_{ver} mediante la ecuación (10), donde H representa, ahora, la altura eficaz de la chimenea H_v , igual a la diferencia de cota entre la sección de salida de los humos y la de conexión del tramo horizontal.

- p. La diferencia entre caída de presión, calculada en el apartado **n** y tiro térmico, calculado en el apartado **o**, proporciona la depresión disponible a la base de la chimenea:

$$\Delta p_{dis} = t_{ver} - \Delta p_{ver} \dots\dots\dots (Ec.12)$$

El valor de la depresión disponible a la base de la chimenea (ecuación 12) debe ser superior a la depresión requerida al final del tramo horizontal (ecuación 11):

$$\Delta p_{dis} \geq \Delta p_{req} \dots\dots\dots (Ec.13)$$

Si la depresión disponible fuera excesivamente superior a la requerida, se empezará un nuevo cálculo reduciendo la sección transversal de los tramos horizontal y/o vertical de la chimenea.

Si la depresión disponible fuera inferior a la requerida, se deberá empezar un nuevo cálculo aumentando las secciones transversales de los tramos horizontal y/o vertical de la chimenea o aumentando la altura de la misma, si fuera posible.

La presión atmosférica, calculada en función de la altura sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento de la chimenea, tiene oscilaciones que están dentro del margen de ± 4.000 Pa. Por razones de seguridad, es conveniente disminuir la presión normalizada de 101.325 Pa. en 4.000 Pa. o lo que es lo mismo, multiplicarla por 0,96 en todas las ecuaciones que sirven para el cálculo de la densidad de los humos y el aire.

5.9.1.4.- Comprobaciones finales.

Para garantizar que las variaciones de caudal másico de los productos de la combustión no produzcan variaciones excesivas de las presiones en el interior de la chimenea, la depresión en la base de la chimenea debe ser superior al valor numérico de la altura eficaz de la chimenea:

$$\Delta p_{dis} > H \dots\dots\dots (Ec.14)$$

De no cumplirse esta condición, se deberá empezar un nuevo cálculo con una sección de chimenea superior.

La velocidad media de los productos de la combustión en la chimenea será superior al valor expresado por la siguiente ecuación:

$$v_{\text{mín.}} = \frac{3080 + 34 \cdot H + (280 + 8 \cdot H) \cdot \log(m)}{2700} \dots\dots\dots(\text{Ec.15})$$

Esta condición supone fijar el caudal mínimo de los humos y evitar la entrada de aire exterior por la boca de salida de la chimenea.

Esta comprobación deberá hacerse para el caudal mínimo de los productos de la combustión, que puede darse según el régimen de parcialización del generador o la central térmica.

De no cumplirse la condición anterior, se empezará un nuevo cálculo con una sección de chimenea inferior o, si la chimenea está a servicio de más de un generador, proyectando una chimenea por cada generador.

La esbeltez de la chimenea, definida como la relación entre la altura efectiva H y el diámetro hidráulico interior D_{hi}, ambos medidos en metros, debe cumplir la condición siguiente, en función de la rugosidad de la pared interior:

Para $r \geq 1 \text{ mm.}$	$\frac{H}{D_{hi}} < 212 - 12 \cdot r$
Para $r < 1 \text{ mm.}$	$\frac{H}{D_{hi}} < 200$

De no cumplirse, habrá que empezar un nuevo cálculo con una sección de chimenea superior.

5.9.2.- Comprobación de sección de chimenea existente.

El procedimiento de comprobación es similar al de cálculo, con esta diferencia: en lugar de asumir una velocidad media de los humos (véase apartado 5.9.1.2, punto c) para calcular la sección transversal, se calcula la velocidad media con la ecuación:

$$v = \frac{\dot{V}}{A_s} \dots\dots\dots(Ec.16)$$

Tanto para el tramo horizontal como para el tramo vertical.

5.10.- CONDENSACIONES

La temperatura de la pared interior en la boca de salida de la chimenea se calculará mediante la expresión:

$$T_i = T_{hs} - \frac{U}{h_i} \cdot (T_{hs} - T_a) \dots\dots\dots(Ec.17)$$

La temperatura de rocío del vapor de agua en los productos de la combustión dependen del tipo de combustible y el contenido de CO₂ (véase anexo B.7).

La temperatura de rocío ácido (temperatura a la cual empieza a condensarse el ácido sulfúrico) depende del contenido de azufre en el combustible, del contenido de CO₂ en los humos y del porcentaje de SO₂ que se oxida a SO₃. En el anexo B.8 se da una indicación del valor de la temperatura de rocío ácido para el gasóleo.

Si el acabado interior de la chimenea fuera sensible a las condensaciones y el combustible tuviese un contenido importante de azufre (por ejemplo, gasóleo y fuelóleo), deberá comprobarse que la temperatura de la pared interior en la boca de salida de la chimenea sea superior a 130 °C.

En caso de que esta condición no se cumpla, se deberá aumentar el espesor del aislamiento térmico del a chimenea.

5.11.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como presentación de los resultados del cálculo, se presentarán los datos de partida y, separadamente para los tramos horizontal y vertical, en su caso, los datos siguientes:

- temperatura media de los humos.

- Caudal volumétrico de los humos.
- Depresión requerida y depresión disponible a la base de la chimenea.
- Velocidad media de los gases.
- Medidas transversales de la chimenea.

Se indicara también la velocidad de salida de los humos de la boca de la chimenea empleado, para su cálculo, la ecuación:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho_{hs} \cdot S_s} \dots\dots\dots(Ec.18)$$

Donde:

S_s Es el área de la sección transversal de la chimenea con los datos de salida.

ρ_{hs} Se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_{hs} = \frac{101325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_{hs}} \dots\dots\dots(Ec.19)$$

Donde: los símbolos tienen el significado y las unidades de medida expresadas anteriormente.

5.12.- TIRO FORZADO

La distribución de la presión en una chimenea con tiro natural queda esquemática y cualitativamente representada en la figura 12, para generadores con hogares en depresión y sobre presión.

Cuando en la chimenea se intercale un ventilador, la distribución varía como se indica en la figura 13, según que el ventilador esté a la salida del generador o en la boca de la chimenea y para hogares en depresión y sobre presión.

Las presiones estáticas indicadas por los segmentos AC y AB representan el efecto combinado de ventilador y tiro térmico.

Cuando el ventilador este situado al final de la chimenea, toda la chimenea quedara en depresión con respecto al ambiente exterior, lo que es recomendable

cuando la chimenea este situada, total o parcialmente, en el interior del edificio para evitar toda posibilidad de salida de gases hacia los locales habitados en cualquier caso, la presión estática del ventilador se sumará al tiro térmico global de la chimenea, calculado entre la salida del generador y la boca de la chimenea, con lo cual la sección necesaria podrá ser inferior a la necesitada con tiro natural.

Cuando el ventilador se disponga en paralelo a la chimenea, como en el caso de separadores de ciclónicos o recuperadores de calor, la chimenea se calculará con tiro natural.

5.13.- DISEÑO

5.13.1.- Tramo Horizontal o Inclinado.

El tramo horizontal será lo mas corto posible y fácilmente accesible en todas sus partes para facilitar las operaciones de limpieza.

Se dará una pendiente del 3%, por lo menos, hacia la conexión con el tramo vertical o el generador para facilitar la recogida de los condensados que se formen durante los arranques.

Se evitara en lo posible los cambios de dirección, cuando sean necesarios, estos deberán diseñarse con un radio de curvatura igual o superior al diámetro hidráulico de dicho tramo.

Los cambios de sección, aunque no recomendables, se realizarán con piezas excéntricas con su generatriz superior enrasada con la del resto del tramo, al fin de evitar la formación de bolsas de gases. El ángulo de divergencia será inferior a 15°.

5.13.2.-Tramo Vertical.

La unión entre el tramo horizontal y/o inclinado y el vertical se hará preferentemente mediante una pieza en T con ángulo sobre la horizontal entre 30° y 60°, para evitar la formación de turbulencia.

La base del tramo vertical dispondrá de una zona de recogida de hollín, condensados y aguas de lluvia, provistas de un registro de limpieza y un manguito de drenaje de 20mm. De diámetro como mínimo. El manguito se conectará al saneamiento mediante una tubería.

En el diseño del tramo vertical se evitarán los cambios de dirección y de sección. De ser necesarios, los cambios de dirección se efectuarán con radios de curvaturas iguales o superiores a 1,5 veces el diámetro hidráulico de dicho tramo y los cambios de sección con ángulos de divergencia iguales o inferiores a 15°.

5.13.3.- Boca de Salida.

La boca de salida al exterior de los humos se situará de manera que se evite la contaminación producida por gases, vapores y partículas sólidas en zonas ocupadas permanentemente por personas.

En la figura 14 se indican las exigencias de distancias mínimas a huecos, cumbreras y obstáculos de cualquier naturaleza que debe cumplir la posición de la boca de las chimeneas.

El elemento de remate de la chimenea debe favorecer la ascensión libre de la columna de humos. Ello se podrá conseguir terminando la chimenea con una abertura de la misma sección que el cuerpo de la chimenea o, mejor, con un cono (o pirámide) reductor, con el fin de aumentar la velocidad de salida. Se recomienda la instalación de sombrerete u otros remates.

5.13.4.- Elementos Accesorios.

Se preverán registros de limpieza en cada cambio de dirección, excepto a la salida de calderas y en la base de la chimenea. Los registros asegurarán un cierre hermético mediante una junta de estanqueidad de resistencia adecuada a la temperatura de los ácidos.

Asimismo, la chimenea dispondrá de los siguientes orificios de medida y control de las condiciones de combustión:

- A la salida de cada generador.
- A una distancia 1mt. y 4mt. de la boca de salida.

Los orificios tendrán un diámetro entre 5mm. y 10mm. y estarán dotados de un casquillo roscado de unos 100mm. de longitud, soldado o anclado a la pared de la chimenea, provisto de una tapa de cierre.

En caso de orificios para aparatos permanentes de medida y control, la hermeticidad entre la pared de la chimenea y el elemento sensible del instrumento se asegurará mediante la aplicación de materiales sellantes de características adecuadas a la agresividad de los humos.

Los orificios se practicarán en la sala de calderas y al exterior, nunca en comunicación con locales interiores, y se situarán a las siguientes distancias mínimas de cualquier perturbación (piezas especiales, etc.) del flujo gaseoso.

- Ocho veces el diámetro hidráulico de la chimenea, si la perturbación esta entre el punto de medida y el generador.
- Dos veces el diámetro hidráulico de la chimenea, si la perturbación está entre el punto de medida y la boca de salida de la chimenea.

En el caso de encontrar dificultades para mantener las distancias indicadas, los puntos de medida y muestreo en la misma sección deberán aumentarse.

Los registros de limpieza los orificios de medida y control se situarán en lugares fácilmente accesibles.

5.13.5.- Sección Transversal.

La sección transversal de las chimeneas, en sus tramos horizontales y verticales, será preferentemente circular.

Si la sección fuera rectangular, la relación entre lados mayor y menor no será superior a 1,5.

5.14.- MATERIALES

Las chimeneas y sus elementos accesorios se fabricarán con materiales incombustibles y resistentes a la temperatura y a los agentes agresivos presentes en los humos.

Las uniones transversales dispondrán de juntas que asegurarán la estanqueidad del sistema de evacuación y absorberán las dilataciones debidas a los cambios de temperatura.

Las chimeneas de obra se realizarán con ladrillos y hormigones refractarios y las caras interiores se rematarán con un enlucido de hormigón refractario, con el fin de reducir la rugosidad superficial.

Las chimeneas de chapa metálica serán de tipo calandrado, con unión longitudinal soldada, o de chapa engatillada.

Se recomienda la instalación de chimeneas metálicas homologadas, en particular de acero inoxidable.

Las chimeneas prefabricadas se montarán siguiendo las instrucciones del fabricante, particularmente en lo que se refiere al método de sujeción, y empleando los accesorios recomendados por el mismo.

5.15.- AISLAMIENTO TÉRMICO

Las chimeneas se aislarán térmicamente en todo su recorrido con el fin de evitar el enfriamiento de los humos.

La resistencia térmica de la pared de las chimeneas fabricadas en obra, a la temperatura de enfriamiento, sin considerar las resistencias térmicas superficiales, no será inferior a $0,6 \text{ m}^2 \text{ K/w}$.

El nivel de aislamiento de las chimeneas prefabricadas será el que recomiende el fabricante, que deberá indicar su valor.

El material aislante llevara un acabado exterior para su protección contra las acciones mecánicas y de los agentes presentes en el aire del ambiente.

5.16.- MONTAJE

La chimenea será totalmente independiente de los elementos estructurales y de cerramiento del edificio, al que ira unida únicamente a través de los soportes, diseñados para permitir la libre dilatación de la chimenea.

Las chimeneas con recorrido en el interior del edificio estarán situadas en un patinillo herméticamente cerrado hacia los locales y con paredes que tengan una resistencia al fuego RF 120 y una atenuación acústica de 40 dB, por lo menos.

Se recomienda que la cámara de aire formada entre las paredes del ducto y las de la chimenea esté en comunicación con el ambiente exterior.

Las chimeneas no podrán atravesar cerramientos corta fuegos del edificio.

(AENOR, 2003)

FIGURAS:

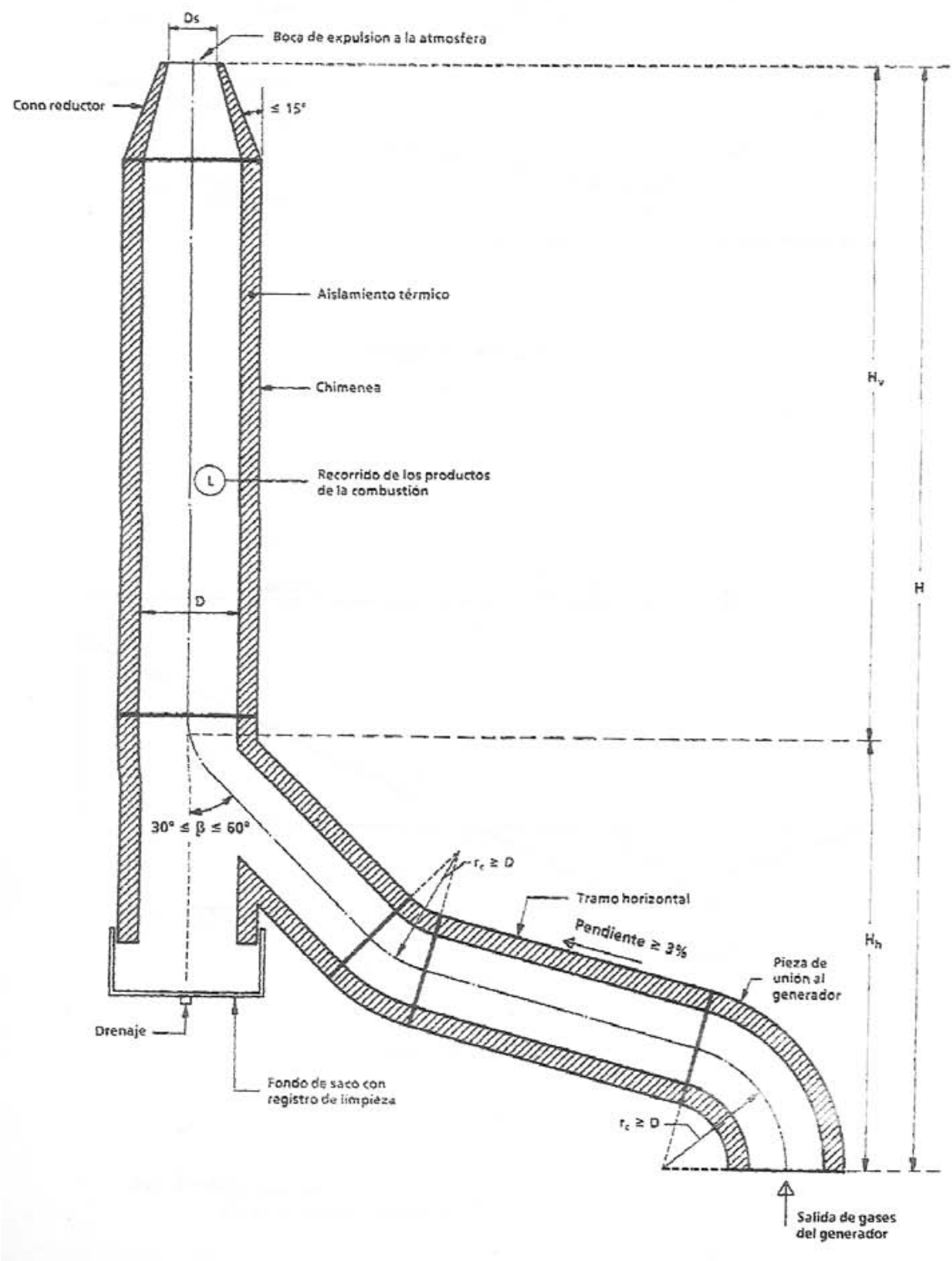
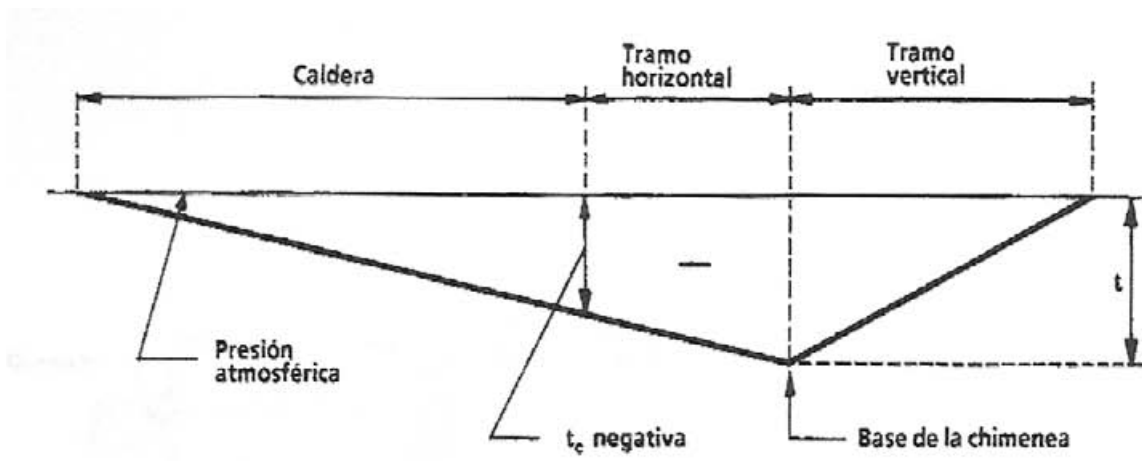
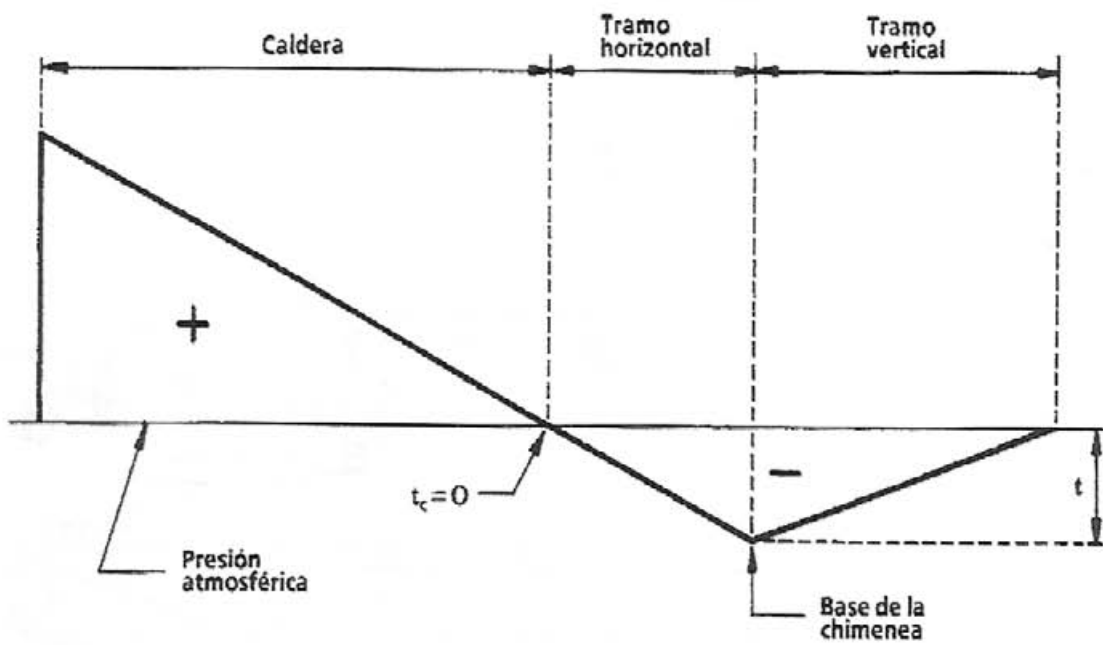


Figura nº 11: Esquema de un conducto de humos.

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.



HOGAR EN DEPRESION



HOGAR EN SOBREPRESION

Figura nº 12: representación esquemática del régimen de presiones en un sistema de evacuación con tiro natural.

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

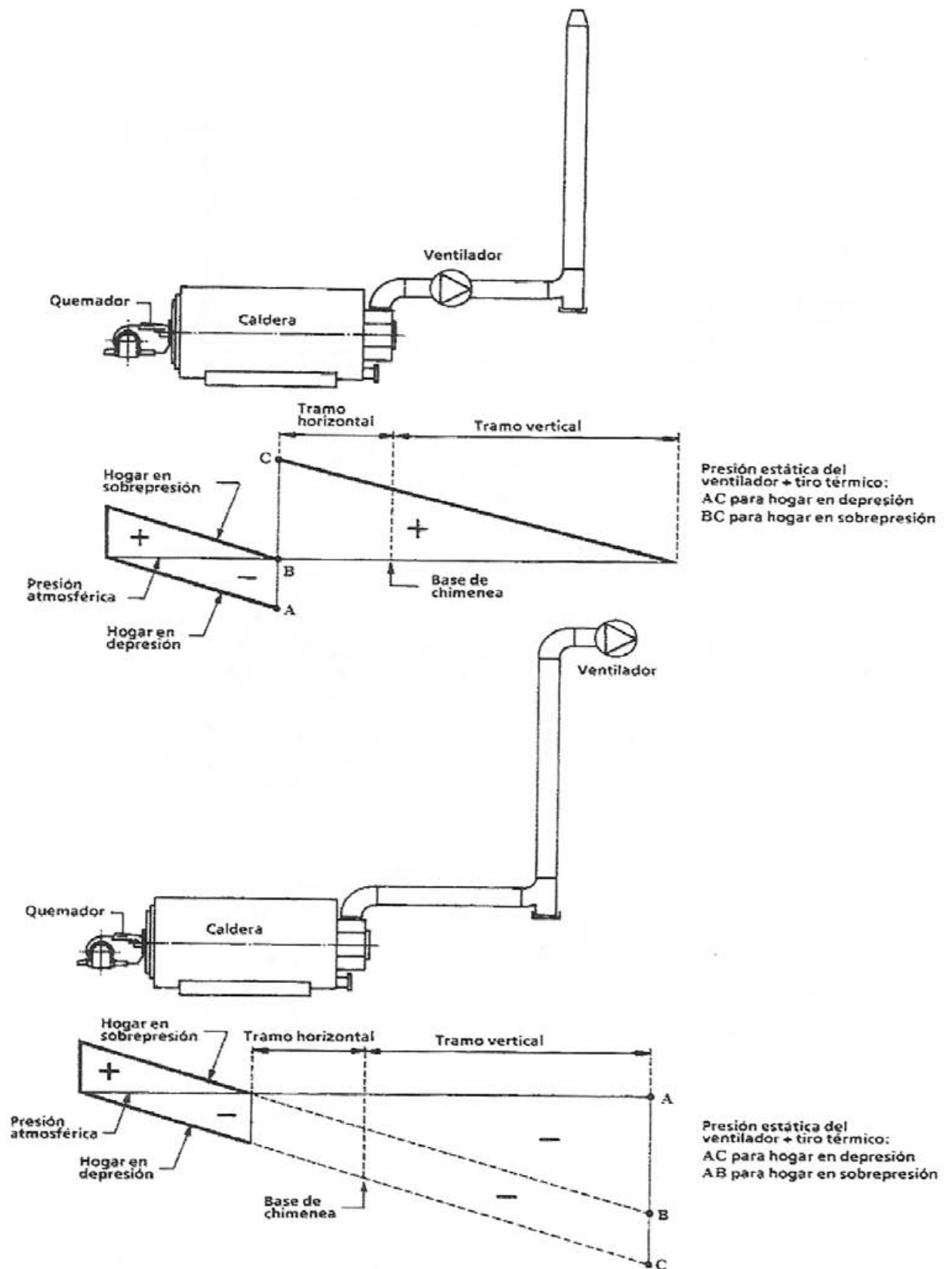


Figura nº 13: Representación esquemática del régimen de presiones en un sistema de evacuación con tiro forzado.

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

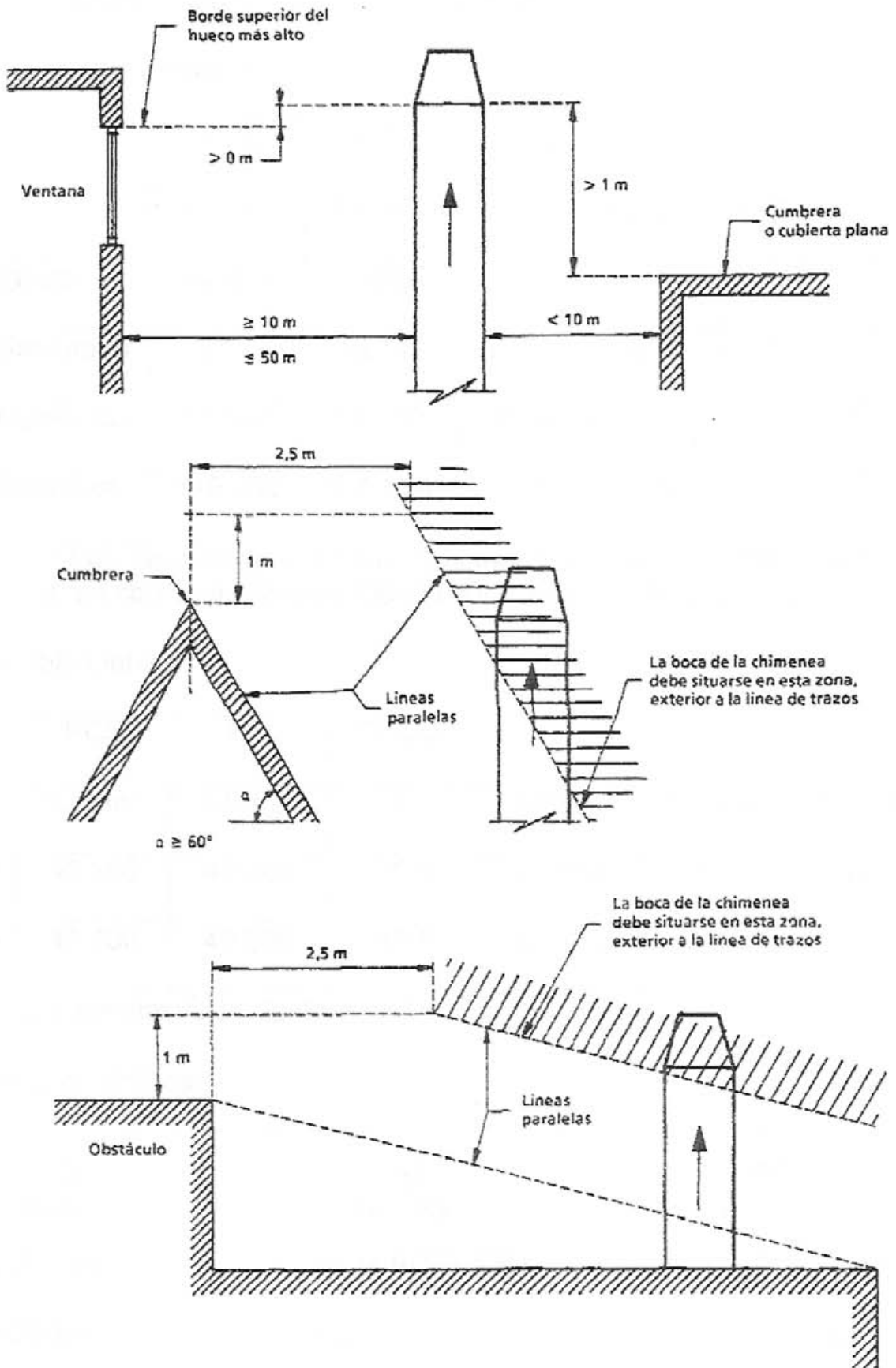


Figura nº 14: Distancia mínima desde la boca de la chimenea hasta un obstáculo.

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

ANEXOS. (Fuente: AENOR, UNE 123-001-94. Chimeneas, Cálculo y Diseño)

ANEXO A. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

1.- Combustibles Gaseosos:

	PCS	PCI	CO ₂ máx.	ρ	PC	PF
	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	%	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³
Gas Natural	44.000	39.600	12,1	0,75	11,2	11,9
Gas Manufacturado	17.600	15.700	12,8	0,65	3,7	4,0
Propano Comercial	93.300	85.750	13,9	1,85	24	25,
Butano Comercial	119.700	110.350	14,1	2,41	31,1	32,7

- Notas:
- 1.Los datos de gas natural y gas manufacturado son aproximados.
 - 2. La constante de elasticidad de los humos vale 300 J/(kg·K).

2.- Combustible Líquido:

	PCS	PCI	CO ₂ máx.	ρ	PC	PF
	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	%	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³
Gasóleo	43.100	42.300	15,6	830/870	11,5	12,3
Fuelóleo	42.700	40.600	15,8	920/970	11,0	11,8

Nota: La constante de elasticidad de los humos vale 290 J/(kg·K).

3.- Combustibles Sólidos:

PCI kJ/kg	PC Nm ³ /kg	PF Nm ³ /kg
≤ 23.000	0,00024·PCI + 0,50	0,00021·PCI + 1,65
< 23.000	0,00024·PCI + 0,55	0,00024·PCI +0,90

Nota: La constante de elasticidad de los humos vale 280 J/(kg·K).

ANEXO B. DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE CALOR

1.- Rendimiento (%):

Potencia térmica kW	Gasóleo	Gas Natural	Propano Natural	Carbón Alimentación Manual	Carbón Alimentación Automática
10	79	79	77	70	73
100	82	82	80	74	78
1.000	85	85	84	79	82

2.- Contenido en volumen de CO₂ en los humos (%) y relación CO_{2máx}/CO₂:

Potencia térmica kW	Gasóleo	Gas Natural	Propano Natural	Carbón Alimentación Manual	Carbón Alimentación Automática
10	10,1	8,6	8,0	8,0	8,5
	1,54	1,41	1,74	2,58	2,42
100	11,4	9,5	8,2	9,0	9,9
	1,37	1,27	1,70	2,29	2,08
1.000	12,8	10,0	10,0	11,8	11,9
	1,22	1,21	1,39	1,75	1,73

3.- Contenido Corrector C_c del exceso de aire:

Tipo de Combustible	C _c
Gaseoso	0,91
Líquido	0,94
Sólido	0,98

4.- Temperatura de los humos en salida de generador:

Potencia Térmica Nominal (kW)	Temperatura de los Humos °C
10	240
100	230
1.000	210

5.- Depresión en hogares de generadores de calor:

5.1.- Combustibles gaseosos y líquidos:

Potencia Nominal (kW)	Depresión (Pa)
$P \leq 120$	$15 \cdot \log(P) - 1,2$
$120 < P \leq 700$	$39,2 \cdot \log(P) - 51,4$
$700 < P$	$19,4 \cdot \log(P) + 4,9$

5.2.- Combustibles sólidos:

Potencia nominal (kW)	Depresión (Pa)
$P \leq 120$	$15 \cdot \log(P) - 1,2$
$120 < P \leq 1.200$	$50 \cdot \log(P) - 74$
$1.200 < P$	80

6.- Calor específico de los humos a presión constante.

6.1.- Combustible gaseoso:

CO ₂ %	Cp J/(kg·K)
10	$1.081 + 0,265 \cdot T_{hm} - 3,095 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
8	$1.074 + 0,166 \cdot T_{hm} - 1,548 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
4	$1.057 + 0,08357 \cdot T_{hm}$

Nota: para valores intermedios de CO₂ se interpola linealmente.

6.2 Combustible líquido:

CO ₂ %	Cp J/(kg·K)
10	$1.036 + 0,0906 \cdot T_{hm} - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
8	$1.027 + 0,0639 \cdot T_{hm} - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
4	$1.014 + 0,0377 \cdot T_{hm} - 1,3571 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$

Nota: para valores intermedios de CO₂ se interpola linealmente.

6.3.- Combustible sólidos:

CO ₂ %	Cp J/(kg·K)
10	$1.010 + 0,0314 \cdot T_{hm} - 3,0477 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
8	$1.009 + 0,0469 \cdot T_{hm} - 1,7619 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
4	$1.011 + 0,00595 \cdot T_{hm} - 2,0476 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$

Nota: para valores intermedios de CO₂ se interpola linealmente.

7.- Temperatura de rocío del vapor de agua.

Combustible	Contenido de CO ₂ % en volumen	Temperatura de rocío °C
Gas ciudad	8 a 10	53 a 58
Gas natural	8 a 10	51 a 55
Gasóleo	10 a 14	41 a 49

8.- Temperatura de rocío ácido.

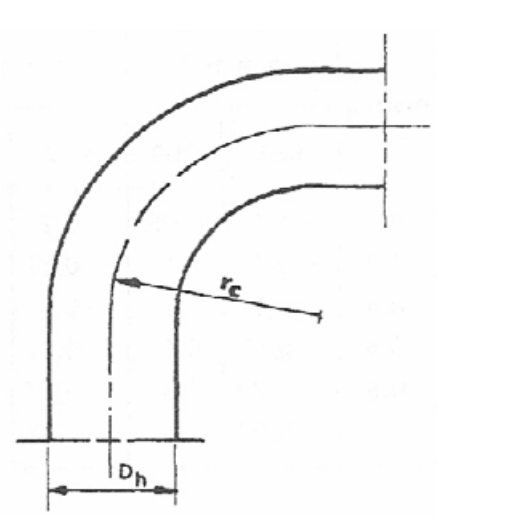
8.1.- Combustible gasóleo y 1% de conversión de SO₂ a SO₃.

Contenido de CO ₂ % en volumen	Contenido de S % en peso	
	0,5	1
10	120	124
12	123	127
14	126	130

ANEXO C.

COEFICIENTES ξ DE PERDIDA LOCALIZADA

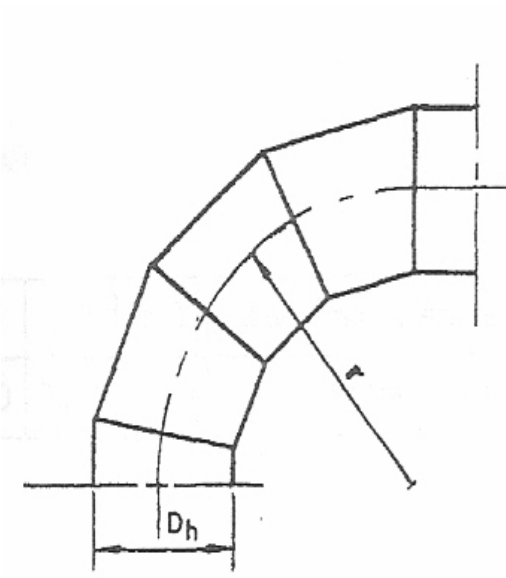
1.- Curvas continuas a 90°:



r_c / D_h	Sección	
	Circular ξ	Rectangular ξ
0,5	0,8	1
0,75	0,4	0,5
1	0,3	0,3
1,5	0,2	0,2
2	0,2	0,2

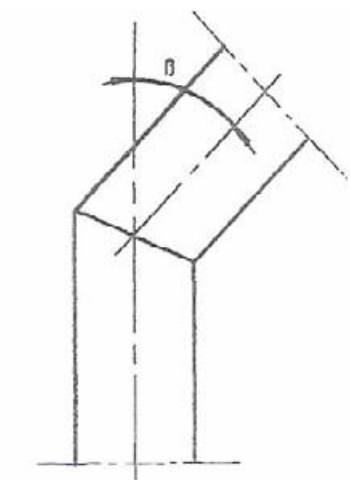
Para ángulos α menores de 90° hasta 30°, multiplicar el coeficiente de la tabla por el factor $0,8 \cdot \alpha / 90$.

2.- Curvas de gajos a 90° de sección circular:



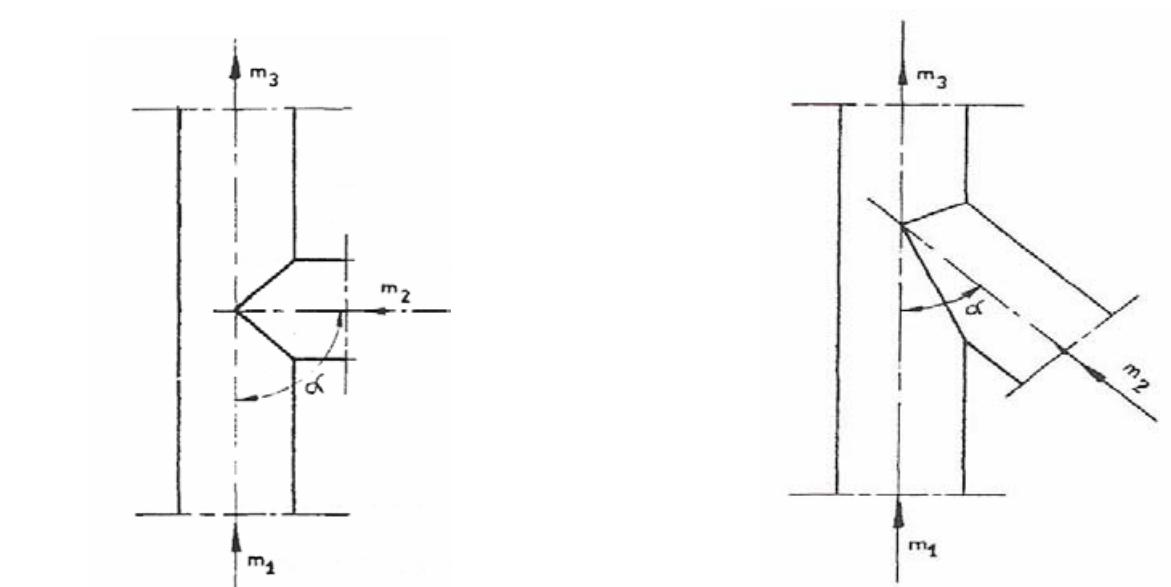
2 gajos	$1,25 D_h \leq r \leq 4 D_h$	$\xi = 0,6$
3 ó 4 gajos	$2 D_h \leq r \leq 8 D_h$	$\xi = 0,4$

3.- Cambios de dirección (sección circular o rectangular):



Ángulo β (grados)	10	15	20	30	45	60
Coeficientes ξ	0,1	0,12	0,15	0,2	0,4	0,8

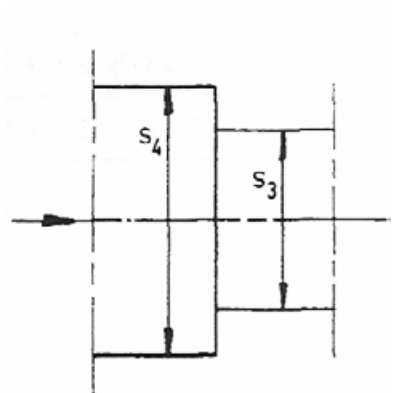
4.- Ramales (Tees) con flujo convergente (diámetros iguales):



m_2/m_3	$\alpha = 90$		$A = 45^\circ$	
	ξ_{2-3}	ξ_{1-3}	ξ_{2-3}	ξ_{1-3}
0	-1,2	0,06	-0,9	0,05
0,2	-0,4	0,12	-0,37	0,15
0,4	0,1	0,2	0	0,19
0,6	0,47	0,4	0,22	0,06
0,8	0,72	0,5	0,37	-0,18
1	0,92	0,6	0,38	-0,54

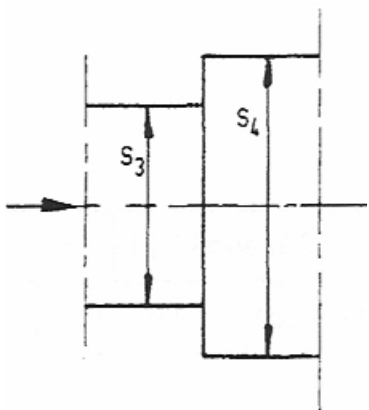
5.- Variación de sección:

5.1.- Reducción brusca.



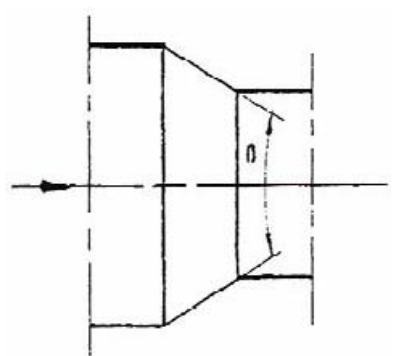
Rel. De superf. S_3/s_4	0,4	0,6	0,8
Coeficiente ξ	0,33	0,25	0,15

5.2.- Aumento brusco.



Rel. de superf. S_3/s_4	0	0,2	0,4	0,6	0,8
Coeficiente ξ	1	0,7	0,4	0,2	0,1

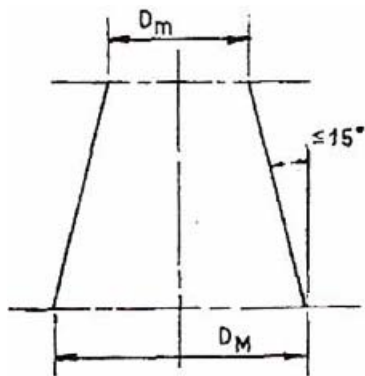
5.3.- Reducción.



Ángulo β (grados)	30	45	60
Coeficiente ξ	0,02	0,04	0,07

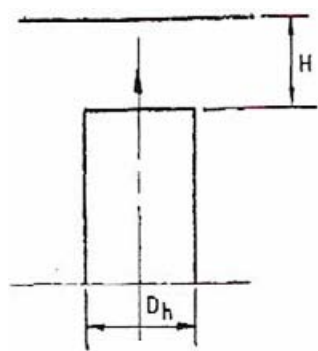
6.- Terminaciones.

6.1.- Cono reductor con ángulo de convergencia $\leq 15^\circ$:



$\xi = \left[\frac{\text{diámetro mayor}}{\text{diámetro menor}} \right]^4 - 1$

6.2.- Plato superior (distancia media en diámetros hidráulicos).



Relación H/D _h	0,5	1
Coeficiente ξ	1,5	1

7.- Rugosidades medias de materiales empleados en la fabricación o construcción de chimeneas (depende de la calidad del acabado).

Materiales	Rugosidad mm.
Acero sin revestir y acero inoxidable:	
- Sección circular	0,5 a 1
- Sección rectangular	1 a 2
Hormigón o revoco en cemento	1,5 a 3
Muros de ladrillos	3 a 5

ANEXO D. TEMPERATURAS DEL AIRE EXTERIOR

Como temperatura exterior de proyectos se adoptará la temperatura media de las máximas durante el período de funcionamiento. A falta de datos, se podrá asumir la temperatura indicada en la tabla siguiente, en función de la zona climática.

Zona climática (Regiones)	Temperaturas medias (°C)
I	16,5
II	16,4
III	14,7
IV	12,2
V	15,3
VI	9,6
VII	12,9
VIII	12,1
IX	10,9
X	10,8
XI	6,2
XII	6,4
Región metropolitana	13,7

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (www.meteochile.cl/climas)

CAPITULO VI

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA CHIMENEA PARA CALDERA DE CALEFACCIÓN DE 120.400 Kcal/Hr.

Desarrollaremos un ejemplo práctico con una caldera de calefacción de petróleo de características inmediatamente detalladas, esta caldera se utilizará en un edificio de nueve m. de altura.

6.1.- CÁLCULO SECCIÓN TRANSVERSAL:

a. Determinación de la potencia térmica útil del generador (ddf).

Caldera de hierro fundido para petróleo o gas, sin quemador, funcionamiento con regulación Logamatic y sonda exterior. Buderus G315/140.



Código	00.185.140
Potencia Térmica Útil	120.400 Kcal/hr.
Presión Máxima de Servicio	6 Bar.
Capacidad Caldera	80.3 lt/min.
Peso Neto	631 kg.

(Fuente: http://www.anwo.cl/frame_lineas)

b. Determinación de las características del combustible empleado (anexo A.2.).

- Combustible Líquido:

	PCS	PCI	CO ₂ máx.	ρ	PC	PF
	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	%	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³	kJ/Nm ³
Gasóleo	43.100	42.300	15,6	830/870	11,5	12,3

Nota: La constante de elasticidad de los humos vale 290 J/(kg·K).

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

c. Determinación del rendimiento el generador (ddf o anexo B.1).

La potencia útil de la caldera es de 120.400 kcal/hr, que equivalen a 140 kW.

Según anexo B.1 (AENOR, 2003), el rendimiento del generador es de un 82% para petróleo.

d. Determinación del contenido de CO₂ en lo humos (ddf o anexo B.2) y cálculo del exceso de aire mediante la ecuación (2) con el valor del coeficiente corrector indicado en el anexo B.3 (AENOR, 2003), o bien determinación directa del exceso de aire (ddf).

Del anexo B.2. AENOR. Desprendemos lo siguiente:

Potencia térmica kW	Gasóleo	Gas Natural	Propano Natural	Carbón Alimentació n Manual	Carbón Alimentación Automática	
100	11,4 1,37	9,5 1,27	8,2 1,70	9,0 2,29	9,9 2,08	% CO ₂ CO _{2max} /CO ₂

Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

Ecuación N° 2:
$$e = \frac{CO_{2max} - 1}{CO_2} \cdot Cc \quad ; \quad Cc = 0.94 \quad ; (petróleo) \text{ (anexo B.3)}$$

Para petróleo:
$$e = (1.37 - 1) \cdot 0.94$$

Por lo tanto:
$$e = 0.35 / \text{ adimensional}$$

e. Determinación de la temperatura de los humos a la salida del generador (ddf o anexo B.4).

Potencia Térmica Nominal (kW)	Temperatura de los Humos °C
100	230

Fuente: AENOR, 2003. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

La potencia térmica de nuestra caldera es de 140 kW, es por eso que elegimos la de 100 kW, ya que la temperatura de los humos sería mayor y en nuestro cálculo se reflejaría como un factor de seguridad.

f. Determinación del caudal másico de los humos mediante la ecuación (1) o ddf.

Ecuación N° 1:

$$\dot{m} = 1,2 \cdot (PF + e \cdot PC) \cdot \frac{P}{\eta \cdot PCI}$$

Del anexo A.2. (Combustible líquido), obtenemos los datos para calcular el caudal másico del petróleo:

$$PF = 12,3 \text{ kJ/Nm}^3; \quad PC = 11,5 \text{ kJ/Nm}^3; \quad P = 140 \text{ KW}; \quad PCI = 42.300 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$\eta = 82\% \quad e = 0.35 \text{ adimensional}$$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$\dot{m} = 1,2 \cdot (12,3 + 0,35 \cdot 11,5) \cdot \frac{140}{0,82 \cdot 42.300}$$

Por lo tanto: $\dot{m} = 0,079 \text{ kg/seg/}$

g. Determinación de la presión disponible a la salida del generador ΔP_{gen} ;

- generadores con hogar en sobre presión = cero;
- generadores con hogar en depresión; (anexo B.5.1).

Como $P = 140 \text{ KW}$; tenemos:

Para petróleo: $120 < P < 700 \text{ kW} \rightarrow \Delta P_{\text{gen}} = 39,2 \cdot \log P - 51,4$; (anexo B.5.1)

Reemplazamos “P” en la ecuación: $\Delta P_{\text{gen}} = 39,2 \cdot \log 140 - 51,4$

Por lo tanto: $\Delta P_{\text{gen}} = 32,73 \text{ Pa/}$

h. Determinación de la temperatura del aire exterior T_a de proyecto y de la altitud sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento de la central.

- Valdivia está ubicada a 12 metros sobre el nivel del mar, según NCH 431of 77.

Construcción. Sobrecarga de Nieve. Por lo tanto: $A = 12 \text{ m/}$

- Para el desarrollo del tema, calcularemos el diseño de la chimenea con una temperatura de $10,8^\circ\text{C}$. Trabajaremos con esta temperatura por ser la temperatura media de las máximas durante el período de funcionamiento (anexo D. AENOR, 2003). ; $T_a = 10,8 + 273,15$; por lo tanto: $T_a = 283,95 \text{ K/}$

6.2.- CÁLCULO TRAMO HORIZONTAL (ENLACE GENERADOR-TRAMO VERTICAL)

a. Determinación de las características geométricas del conjunto (medidas máximas transversales, longitud, números y tipos de piezas especiales y pendiente).

- Medidas máximas transversales: 0.3 mt.
- Longitud máxima: 2.0 mt.
- Una pieza de unión al generador.
- Pendiente $\geq 3 \%$.
- Una Tes con flujo convergente de diámetros distintos.

b. Determinación del nivel de aislamiento térmico (material y espesor) y acabado interior (rugosidad).

- Plancha de acero de espesor igual a 4 mm.
- Rugosidad de la plancha de acero igual a 0,7mm.
- Lana mineral densidad 50 Kg/m³, espesor = 50mm.

c. Asumiremos, en primera aproximación, una velocidad media de los humos en función del caudal másico de acuerdo a la relación siguiente:

$$v = 7,1 + (2,03 \cdot x) + (0,25 \cdot x^2) - (0,526 \cdot 10^{-3} \cdot x^3) - (3,109 \cdot 10^{-3} \cdot x^4).$$

Donde: $x = \ln \left(\frac{\dot{m}}{m} \right)$

Para el petróleo: $\dot{m} = 0,079 \text{ kg/seg/}$ (calculado anteriormente) $\rightarrow x = \ln (0,079)$.

Por lo tanto $x = -2,54/$; reemplazamos "x" en la ec. anterior, tenemos:

$$v = 7,1 + (2,03 \cdot (-2,54)) + (0,25 \cdot (-2,54)^2) - (0,526 \cdot 10^{-3} \cdot (-2,54)^3) - (3,109 \cdot 10^{-3} \cdot (-2,54)^4).$$

Por lo tanto: $v = 3,43 \text{ m/seg/}$

d. Se asumirá, en primera aproximación, una temperatura media de los humos igual a la de la salida del generador.

$$T_{hm} = 230^{\circ}\text{C} \text{ (según anexo B.4)} \rightarrow T_{hm} = 230 + 273,15 = 503,15 \text{ K}$$

Por lo tanto: $T_{hm} = 503,15 \text{ K/}$

e. En base a la altitud s.n.m. "A" y la constante de elasticidad de los gases "R" (véase anexo A), se calcula la densidad media mediante la ecuación nº 4.

$$A = 12 \quad ; \quad R = 290 \text{ J/(Kg} \cdot \text{K)} \quad ; \quad T_{hm} = 503,15 \text{ K}$$

$$\text{Ecuación N}^\circ 4: \quad \rho_{hm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_{hm}} \quad ; \text{ reemplazando tenemos:}$$

$$\text{Para el petróleo: } \rho_{hm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot 12)}{290 \cdot 503,15}$$

$$\text{Por lo tanto: } \rho_{hm} = \underline{0,69 \text{ kg/m}^3}$$

f. Se calcula el caudal volumétrico mediante la ecuación nº 3.

$$\dot{m} = 0,079 \text{ kg/seg} \quad ; \quad \rho_{hm} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ecuación n}^\circ 3: \quad \dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho_{hm}} \quad ; \text{ reemplazamos en la ec. anterior tenemos:}$$

$$\text{Para petróleo: } \dot{v} = \frac{0,079}{0,69} \rightarrow \text{por lo tanto: } \underline{\dot{v} = 0,114 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

g. Se calcula el área de la sección transversal de la chimenea mediante la expresión:

$$A_s = \frac{\dot{v}}{v} \quad ; \text{ con: } \dot{v} = 0,113 \text{ m}^3/\text{seg} \quad , \quad v = 3,43 \text{ m/seg}$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } A_s = \frac{0,114}{3,43} \rightarrow \text{Por lo tanto: } \underline{A_s = 0,033 \text{ m}^2}$$

h. Se determina los lados o el diámetro de la chimenea:

Trabajaré con una sección circular, debido a que el humo tiene menos roce con la superficie, por lo tanto tenemos:

$$A_s = 0,033 \text{ m}^2 \quad ; \quad \text{como: } A_s = \pi \cdot (d/2)^2$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0,033 = \pi \cdot (d/2)^2 \quad ; \text{ Por lo tanto: } \underline{\text{diámetro} = 0,20 \text{ m}}$$

i. Se calcula el calor específico a presión constante de los humos mediante la ecuación del anexo B.6. (AENOR, 2003)

Para el petróleo:

El petróleo tiene un 15,8% de CO₂, por lo que tenemos:

$$C_p = 1.036 + 0,0906 \cdot T_{hm} - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2 \quad ; \text{ con } T_{hm} = 503,15 \text{ K.}$$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$C_p = 1.036 + 0,0906 \cdot 503,15 - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot 503,15^2$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{C_p = 1.052,05 \text{ J/ (kg}\cdot\text{K)}}$$

j. Calcular el coeficiente global de transmisión de calor U según el procedimiento indicado en el punto 5.6 (AENOR, 2003), asumiendo en primera aproximación, una temperatura media de los materiales de la pared de la chimenea igual a la media aritmética entre temperatura media de los humos y temperatura del aire exterior.

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]}$$

Donde:

$$h_i = \frac{\lambda_h \cdot N_u}{D_{hi}} ; \quad \lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{hm} - 273) ; \quad N_u = 0,0354 \cdot a \cdot (Re^{0,75} - 180)$$

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2 ; \quad r = 0,7 \text{ mm (rugosidad del material)}$$

$$Re = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c} ; \quad v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2$$

- Cálculo de la conductividad térmica “ λ_h ”; para ello, primero calculamos T_{hm} :

$$\underline{T_{hm} = 503,15 \text{ K}} ; \quad \underline{T_a = 283,95 \text{ K}}$$

$$T_{hm} = \frac{503,15 + 283,95}{2} ; \quad \text{Por lo tanto: } \underline{T_{hm} = 393,55 \text{ K}}$$

Entonces: $\lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{hm} - 273)$; reemplazamos en la ecuación:

$$\text{Tenemos: } \lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (393,55 - 273)$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\lambda_h = 0,024 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}}$$

- Cálculo de la viscosidad cinética de los gases “ v_c ” (m^2/seg):

$$v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2 ; \quad T_{hm} = 393,55 \text{ K}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot 393,55 + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot 393,55^2$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{v_c = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}}$$

- Cálculo del número de Reynolds: $Re = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c}$;

Tenemos: $v = 3,43\text{m/seg}$; $D_{hi} = 0,2\text{m}$; $v_c = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{m}^2/\text{seg}$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

Para petróleo: $Re = \frac{3,43 \cdot 0,20}{2,27 \cdot 10^{-5}}$

Por lo tanto: $Re = 30.220,26/$ (adimensional)

- Cálculo del coeficiente “a”:

$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2$; tenemos $r = 0,7$; reemplazamos:

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot 0,7 - 0,014167 \cdot 0,7^2$$

Por lo tanto: $a = 1,111/$ (adimensional).

- Cálculo del número de Nusselt “Nu”:

$$Nu = 0,0354 \cdot a \cdot (Re^{0,75} - 180)$$
 ;

Tenemos: $a = 1,111$ (adimensional). ; $Re = 30.220,26$ (adimensional).

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$Nu = 0,0354 \cdot 1,111 \cdot (30.220,26^{0,75} - 180)$$

Por lo tanto: $Nu = 83,06/$ (adimensional).

- Cálculo del coeficiente superficial interior “ h_i ”:

$$h_i = \frac{\lambda_h \cdot Nu}{D_{hi}}$$

Tenemos: $\lambda_h = 0,024 \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$; $Nu = 83,06$ (adimensional). ; $D_{hi} = 0,2\text{m}$

Reemplazamos en la ecuación anterior:

Para el petróleo: $h_i = \frac{0,024 \cdot 83,06}{0,20}$; Por lo tanto: $h_i = 9,96 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$

- Cálculo de la resistencia térmica de la pared “R”:

$$R = s \cdot D_{hi} \cdot \sum \left[\frac{1}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \left(\frac{D_{hin} + 2 \cdot \epsilon_n}{D_{hin}} \right) \right]$$

Tenemos:

$$D_{hi} = 0,2\text{m}$$

$s = 1$ (sección circular) (AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño, Tabla nº:6)

Conductividad térmica materiales: (<http://www.registrocdt.cl>)

$$\lambda_{n(\text{acero})} = 45 \text{ (W/m}\cdot\text{K)} ; \lambda_{n(\text{lana mineral})} = 0,042 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

Espesor equivalente materiales: $\epsilon_{n(\text{acero})} = 4\text{mm.}$; $\epsilon_{n(\text{lana mineral})} = 50\text{mm.}$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$R = 1 \cdot 0,20 \left[\left(\frac{1}{2 \cdot 45} \cdot \ln \left(\frac{0,20 + 2 \cdot 4}{0,20} \right) \right) + \left(\frac{1}{2 \cdot 0,042} \cdot \ln \left(\frac{0,20 + 2 \cdot 50}{0,20} \right) \right) \right]$$

Por lo tanto: $R = 14,8 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)}$

- Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor “U”.

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]}$$

Tenemos:

$\beta = 0,8$; (Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño. Tabla nº: 7)

$h_x = 8$; (Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño. 6.3)

$R = 14,8 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)}$; $D_{hi} = 0,2\text{m}$; $D_{hx} = 0,204\text{m}$; $h_i = 9,96 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{9,96} + 0,8 \cdot \left(14,8 + \frac{0,20}{0,204} \cdot \frac{1}{8} \right) \right]}$$

Por lo tanto: $U = 0,083 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$

k. Calcular el área de la superficie interior de la chimenea S_i .

$S_i = \text{Perímetro} \cdot \text{Largo}$; diámetro = 0,20 mt. ; Largo = 1,5m ; perímetro = $2 \cdot \pi \cdot d/2$

Reemplazando en la ecuación, tenemos:

$$S_i = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,2}{2} \cdot 1,5$$

Por lo tanto: $S_i = 0,94\text{m}^2$

I. Calcular el factor de enfriamiento f_e según ecuación (7).

$$f_e = \frac{U \cdot S_i}{C_p \cdot \dot{m}}$$

Tenemos:

$S_i = 0,94\text{m}^2$; $U = 0,083 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$; $C_p = 1.052,05 \text{ J/ (kg}\cdot\text{K)}$; $\dot{m} = 0,078\text{Kg/seg}$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$f_e = \frac{0,083 \cdot 0,94}{1.052,05 \cdot 0,079}$$

Por lo tanto: $f_e = 9,38 \cdot 10^{-4}$ / (adimensional)

m. Calcular la temperatura media de los humos T_{hm} en el tramo de conductos en consideración mediante la ecuación (6).

$$T_{hm} = T_a + \frac{T_{he} - T_a}{f_e} \cdot (1 - e^{-f_e})$$

Tenemos:

$$T_{he} = 503,15K; \quad T_a = 283,95K; \quad e = 0,35 \text{ (adimensional); } f_e = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ (adimensional)}$$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$T_{hm} = 283,95 + \frac{503,15 - 283,95}{9,7 \cdot 10^{-4}} \cdot (1 - 0,35^{-9,7 \cdot 10^{-4}})$$

Por lo tanto: $T_{hm} = 53,71K$ /

o. Calcular la temperatura de los humos a la salida de la chimenea T_{hs} mediante la ecuación (5).

$$T_{hs} = T_a + (T_{he} - T_a) \cdot e^{-f_e}$$

Tenemos:

$$T_{he} = 503,15K; \quad T_a = 283,95K; \quad e = 0,35 \text{ (adimensional); } f_e = 9,38 \cdot 10^{-4} \text{ (adimensional)}$$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$T_{hs} = 283,95 + (503,15 - 283,95) \cdot 0,35^{-9,16 \cdot 10^{-4}}$$

Por lo tanto: $T_{hs} = 503,36 K$ /

p. Calcular la caída de presión al movimiento de los humos en el tramo horizontal Δp_{hor} según lo indicado en el punto 7.

$$\Delta p = [\sum [\rho_{hm} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot (f \cdot \frac{L}{D_{hi}} + \sum \xi)] + \Delta p_d] \cdot f_s$$

$$v_m = \frac{m}{\rho_{hm} \cdot S} \quad ; \quad \text{tenemos: } v_m = \frac{0,079}{0,69 \cdot 0,033} \quad ; \quad \text{Por lo tanto: } v_m = 3,46 \text{ m/s/}$$

$$f = 0,118 \cdot \frac{r^{0,25}}{D_{hi}^{0,40}} \quad ; \quad \text{tenemos: } f = 0,118 \cdot \frac{0,7^{0,25}}{0,20^{0,40}} \quad ; \quad \text{Por lo tanto: } f = 0,2/$$

$$\Delta p_d = \rho_{hm} \cdot \frac{v_{ms}^2 - v_{me}^2}{2} \quad ; \text{tenemos: } v_{ms}^2 = v_{me}^2 \quad ; \text{Por lo tanto } \underline{\Delta p_d = 0/}$$

La chimenea es de metal, por lo tanto trabajaremos con un $f_s = 1,3/$.

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$\Delta p_{hor} = \left[\left[0,69 \cdot \frac{3,46^2}{2} \cdot \left(0,2 \cdot \frac{1,5}{0,20} + (0,3 + 0,05) \right) \right] \cdot 1,3 \right]$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\Delta p_{hor} = 9,9 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}}$$

q. Calcular la densidad del aire exterior según la ecuación

$$\rho_a = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_a}$$

Donde: Para el aire se asumirá $R = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ y la temperatura T_a (en K) se podrá tomar del anexo D.

$T = 10,8^\circ\text{C}$ (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (www.meteochile.cl/climas))

$$\text{Tenemos: } T_a = 10,8 + 273,15 \quad ; \text{Por lo tanto: } \underline{T_a = 283,95 \text{ K}}$$

$A = 12 \text{ m.s.n.m.}$ (NCH 431 of 77. Construcción. Sobrecarga de Nieve)

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$\rho_a = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot 12)}{287 \cdot 283,95}$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\rho_a = 1,24 \text{ Kg/m}^3}$$

r. Calcular el tiro térmico del tramo horizontal t_{hor} mediante la ecuación (10), donde la diferencia de cota H , igual a H_h , se asumirá positiva para tramo ascendente (de generador a chimenea), negativa para tramo descendente y, obviamente, nula para tramo horizontal. La cota H_h se medirá entre el centro de las secciones de salida y entrada.

$$\underline{\text{Ecuación N}^\circ 10:} \quad t_{hor} = g \cdot H \cdot (\rho_a - \rho_{hm})$$

$$\text{Tenemos: } g = 9,81 \text{ m/seg}^2 \quad ; H = 1,5 \quad ; \rho_a = 1,24 \text{ Kg/m}^3 \quad ; \rho_{hm} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazamos en la ecuación anterior, tenemos:

$$t_{hor} = 9,81 \cdot 1,5 \cdot (1,24 - 0,69)$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{t_{hor} = 8,09 \text{ Pa}}$$

s. La depresión requerida a la base de la chimenea se hallará sumando algebraicamente los siguientes factores:

- La presión a la salida del generador Δp_{gen} , negativa en caso de hogar en depresión y nula para hogares en sobre presión (véase apartado 9.1.1, punto g).
- La caída de presión por resistencia al movimiento Δp_{hor} , negativa por definición (véase 9.1.2, punto p).
- El tiro térmico t_{hor} , con el signo convencionalmente asignado a la cota H_h .

Resumiendo y tomando los valores absolutos de las diferencias de presión antes calculadas, la depresión requerida al final del tramo horizontal o, lo que es lo mismo, a la base de la chimenea es:

$$\Delta p_{\text{req}} = \Delta p_{\text{gen}} + \Delta p_{\text{hor}} \pm t_{\text{hor}}$$

Tenemos: $t_{\text{hor}} = 8,09 \text{ Pa}$; $\Delta p_{\text{hor}} = 9,9 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}$; $\Delta P_{\text{gen}} = 32,73 \text{ Pa}$

Reemplazando tenemos:

$$\Delta p_{\text{req}} = 32,73 - 9,9 + 8,09$$

Por lo tanto: $\Delta p_{\text{req}} = 30,92 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}$

6.3.- CÁLCULO DEL TRAMO VERTICAL.

a. Determinación de las características geométricas de la chimenea (medidas máximas transversales, altura H_v , número y tipos de piezas especiales).

- Longitud: 10 mt.
- Medidas máximas transversales: 0.35 mt.
- Un cono reductor.
- Un fondo de registro de limpieza.
- Un aumento brusco.
- Desagüe de condensaciones

b. Determinación del nivel de aislamiento térmico (material y espesor) y acabado interior (rugosidad).

- Plancha de acero de espesor igual a 4 mm.

- Rugosidad de la plancha de acero igual a 0,7mm.

- Lana mineral densidad 50 Kg/m³, espesor = 50mm.

c. Se elige un área de la sección transversal igual o inferior al tramo horizontal.

En este caso elegiremos la sección transversal igual al del tramo horizontal:

$$\underline{A_s = 0,033 \text{ m}^2/}$$

Después de desarrollado el cálculo con esta sección, comprobamos que la depresión disponible es inferior a la depresión requerida por la chimenea para su buen funcionamiento. Por lo tanto, aumentamos el diámetro de la chimenea en su parte vertical, quedando de 0,35mt de diámetro, lo que implica un área transversal;

$$\underline{A_s = 0,096 \text{ m}^2/}$$

d. Se asume una temperatura media de los humos igual, en primera aproximación, a la de salida del tramo horizontal (véase apartado 9.1.2, punto o).

Tenemos anteriormente que $T_{hs} = 503,36 \text{ K}$; por lo tanto: $\underline{T_{hm} = 503,36 \text{ K/}}$

e. Calcular la densidad media de los gases con la ecuación nº 4.

$$\text{Ecuación N}^\circ 4: \quad \rho_{hm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_{hm}}$$

Tenemos: $A = 12\text{m}$; $T_{hm} = 503,36 \text{ K}$; $R = 290 \text{ J/(Kg} \cdot \text{K)}$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$\rho_{hm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot 12)}{290 \cdot 503,36}$$

Por lo tanto: $\rho_{hm} = \underline{0,69 \text{ kg/m}^3/}$

f. Calcular el caudal volumétrico mediante la ecuación (3)

$$\text{Ecuación N}^\circ 3: \quad \dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho_{hm}}$$

Tenemos: $\dot{m} = 0,079 \text{ kg/seg}$; $\rho_{hm} = 0,69 \text{ kg/m}^3$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$\dot{v} = \frac{0,079}{0,69} \quad ; \quad \text{Por lo tanto:} \quad \dot{v} = 0,114 \text{ m}^3/\text{seg/}$$

g. Calcular el calor específico a presión constante, anexo B.6.2(AENOR, 2003):

Para el petróleo:

El petróleo tiene un 15,8% de CO₂, por lo que tenemos:

$$C_p = 1.036 + 0,0906 \cdot T_{hm} - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2 \quad ; \quad T_{hm} = 503,36K.$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$C_p = 1.036 + 0,0906 \cdot 503,36 - 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot 503,36^2$$

$$\text{Por lo tanto: } C_p = 1.052,04 \text{ J/ (kg} \cdot \text{K)/}$$

h. Calcular el coeficiente global de transmisión de calor U según lo indicado en el capítulo 5.6.

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]}$$

Donde:

$$h_i = \frac{\lambda_h \cdot N_u}{D_{hi}} \quad ; \quad \lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{hm} - 273) \quad ; \quad N_u = 0,0354 \cdot a \cdot (Re^{0,75} - 180)$$

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2 \quad ; \quad r = 0,7\text{mm (rugosidad del material)}$$

$$Re = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c} \quad ; \quad v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2$$

- Cálculo de la conductividad térmica “λ_h”; para ello, primero calculamos:

$$\text{Tenemos:} \quad T_{hm} = 503,36K \quad ; \quad T_a = 283,95K$$

$$T_{hm} = \frac{503,36 + 283,95}{2} \quad ; \quad \text{por lo tanto: } T_{hm} = 393,65K/$$

Reemplazamos en la ecuación de la conductividad térmica (λ_h), tenemos:

$$\lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (393,65 - 273) \quad ; \quad \text{por lo tanto: } \lambda_h = 0,024 \text{ (W/m} \cdot \text{K)/}$$

- Cálculo de la viscosidad cinética de los gases “v_c” (m²/seg):

$$v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2 \quad ; \quad T_{hm} = 393,65K$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$v_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot 393,65 + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot 393,65^2$$

Por lo tanto: $v_c = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}/$

- Cálculo del número de Reynolds: $Re = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c}$;

Tenemos: $v_c = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$; $D_{hi} = 0,35\text{m}$; $v = 3,43\text{m}/\text{seg}$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$Re = \frac{3,43 \cdot 0,35}{2,27 \cdot 10^{-5}} \quad ; \text{ por lo tanto: } Re = 52.885,46/ \text{ (adimensional)}$$

- Cálculo del coeficiente “a”:

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2 \quad ; \text{ tenemos } r = 0,7$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot 0,7 - 0,014167 \cdot 0,7^2$$

Por lo tanto: $a = 1,111/$ (adimensional)

- Cálculo del número de Nusselt: $Nu = 0,0354 \cdot a \cdot (Re^{0,75} - 180)$

Tenemos: $a = 1,111$ (adimensional) ; $Re = 52.885,46$ (adimensional)

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$Nu = 0,0354 \cdot 1,111 \cdot (52.885,46^{0,75} - 180)$$

Por lo tanto: $Nu = 130/$ (adimensional).

- Cálculo del coeficiente superficial interior “h_i”: $h_i = \frac{\lambda_h \cdot Nu}{D_{hi}}$

Tenemos: $\lambda_h = 0,024 \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$; $Nu = 130$ (adimensional) ; $D_{hi} = 0,35\text{m}$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$h_i = \frac{0,024 \cdot 130}{0,35} \quad \rightarrow \quad \text{Por lo tanto: } h_i = 8,91 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}/$$

- Cálculo de la resistencia térmica de la pared “R”:

$$R = s \cdot D_{hi} \cdot \sum \left[\frac{1}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \left(\frac{D_{hin} + 2 \cdot \epsilon_n}{D_{hin}} \right) \right]$$

Tenemos:

$$D_{hi} = 0,35\text{m}$$

$S = 1$ (sección circular) (AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño, Tabla nº:6)

Conductividad térmica materiales: (fuente: <http://www.registrocdt.cl>)

$$\lambda_{n(\text{acero})} = 45 \text{ (W/m}\cdot\text{K)} ; \lambda_{n(\text{ lana mineral})} = 0,042 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

Espesor equivalente materiales: $\epsilon_{n(\text{acero})} = 4\text{mm.}$; $\epsilon_{n(\text{ lana mineral})} = 50\text{mm.}$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

Para el petróleo:

$$R = 1 \cdot 0,35 \left[\left(\frac{1}{2 \cdot 45} \cdot \ln \frac{(0,35 + 2 \cdot 4)}{(0,35)} \right) + \left(\frac{1}{2 \cdot 0,042} \cdot \ln \frac{(0,35 + 2 \cdot 50)}{(0,35)} \right) \right]$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{R = 23,59(\text{m}^2\cdot\text{K/W})/}$$

- Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor "U".

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]}$$

Tenemos:

$$\beta = 0,8 ; \text{ (Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño. Tabla nº: 7)}$$

$$h_x = 8 ; \text{ (Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño. 6.3)}$$

$$R = 23,59(\text{m}^2\cdot\text{K/W})/ ; D_{hi} = 0,35\text{m} ; D_{hx} = 0,354\text{m} ; h_i = 8,89 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}/$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{8,91} + 0,8 \cdot \left(23,59 + \frac{0,35}{0,354} \cdot \frac{1}{8} \right) \right]}$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{U = 0,052 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}/}$$

i. Calcular el área de la superficie interior de la chimenea S_i .

$$S_i = \text{Perímetro} \cdot L ; \text{ diámetro} = 0,35 \text{ mt.} ; \text{ Largo} = 10\text{m} ; \text{ perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot d/2$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$S_i = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 10$$

$$S_i = 1,09 \cdot 10 ; \text{ Por lo tanto: } \underline{S_i = 10,9 \text{ m}^2/}$$

j. Cálculo del factor de enfriamiento f_e según la ecuación (7).

$$f_e = \frac{U \cdot S_i}{C_p \cdot \dot{m}}$$

$$S_i = 10,9 \text{ m}^2; \quad \dot{m} = 0,079 \text{ kg/seg}; \quad C_p = 1.052,04 \text{ J/ (kg}\cdot\text{K)}; \quad U = 0,052 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$f_e = \frac{0,052 \cdot 10,9}{1052,04 \cdot 0,079}$$

$$\text{Por lo tanto: } f_e = 6,9 \cdot 10^{-3} / \text{(adimensional)}$$

k. Calcular la temperatura media de los humos (T_{hm}) en la chimenea mediante la ecuación (6).

$$T_{hm} = T_a + \frac{T_{he} - T_a}{f_e} \cdot (1 - e^{-f_e})$$

$$\text{Tenemos: } T_a = 283,95\text{K} \quad ; \quad f_e = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ (adimensional)} \quad ; \quad T_{he} = 503,36\text{K} \quad ; \quad e = 0,35\text{m}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$T_{hm} = 283,95 + \frac{503,36 - 283,95}{6,9 \cdot 10^{-3}} \cdot (1 - 0,35^{-6,9 \cdot 10^{-3}})$$

$$\text{Por lo tanto: } T_{hm} = 52,77\text{K/}$$

m. Calcular la temperatura de los humos a la boca de salida de la chimenea mediante la ecuación (5).

$$T_{hs} = T_a + (T_{he} - T_a) \cdot e^{-f_e}$$

$$\text{Tenemos: } T_a = 283,95\text{K} \quad ; \quad T_{he} = 503,36\text{K} \quad ; \quad f_e = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ (adimensional)} \quad ; \quad e = 0,35\text{m}$$

Reemplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$T_{hs} = 283,95 + (503,36 - 283,95) \cdot 0,35^{-6,9 \cdot 10^{-3}}$$

$$\text{Por lo tanto: } T_{hs} = 504,95\text{K/}$$

n. Calcular la caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en la chimenea Δp_{ver} según el procedimiento indicado en el capítulo 7.

$$\Delta p = \left[\sum \left[\rho_{hm} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot \left(f \cdot \frac{L}{D_{hi}} + \sum \xi \right) \right] + \Delta p_d \right] \cdot f_s$$

$$v_m = \frac{\dot{m}}{\rho_{hm} \cdot S} ; \text{ tenemos: } v_m = \frac{0,079}{0,69 \cdot 0,096} ; \text{ Por lo tanto: } \underline{v_m = 1,19 \text{ m/s/}}$$

$$f = 0,118 \cdot \frac{r^{0,25}}{D_{hi}^{0,40}} ; \text{ tenemos: } f = 0,118 \cdot \frac{0,7^{0,25}}{0,35^{0,40}} ; \text{ Por lo tanto: } \underline{f = 0,16/}$$

$$\Delta p_d = \rho_{hm} \cdot \frac{v_{ms}^2 - v_{me}^2}{2} ; \text{ tenemos: } v_{ms}^2 = v_m^2 ; \text{ Por lo tanto } \underline{\Delta p_d = 0/}$$

La chimenea es de metal, por lo tanto trabajaremos con un $\underline{f_s = 1,3/}$.

Reemplazamos entonces en la ecuación:

$$\Delta p_{ver} = \left[\left[0,69 \cdot \frac{1,19^2}{2} \cdot (0,16 \cdot \frac{10}{0,35} + (0,15 - 0,98)) \right] \cdot 1,3 \right]$$

Aumento brusco cono reductor

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\Delta p_{ver} = 2,37 \text{ Pa(N/m}^2\text{)/}}$$

o. Calcular el tiro térmico de la chimenea t_{ver} mediante la ecuación (10), donde H representa, ahora, la altura eficaz de la chimenea H_v , igual a la diferencia de cota entre la sección de salida de los humos y la de conexión del tramo horizontal.

$$\underline{\text{Ecuación N}^\circ 10:} \quad t_{ver} = g \cdot H \cdot (\rho_a - \rho_{hm})$$

$$\text{Tenemos: } g = 9.81 \text{ m/s}^2; \quad H = 10\text{m}; \quad \rho_{hm} = 0,69 \text{ kg/m}^3; \quad \rho_a = 1,24 \text{ Kg/m}^3$$

Reemplazamos entonces en la ecuación:

$$t_{ver} = 9,81 \cdot 10 \cdot (1,24 - 0,69)$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{t_{ver} = 53,96 \text{ Pa/}}$$

p. La diferencia entre caída de presión, calculada en el punto “o” y tiro térmico, en el punto “p”, proporciona la depresión disponible a la base de la chimenea:

$$\Delta p_{dis} = t_{ver} - \Delta p_{ver} ; \text{ tenemos: } t_{ver} = 53,96 \text{ Pa}; \quad \Delta p_{ver} = 2,37 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}$$

Reemplazando tenemos:

$$\Delta p_{dis} = 53,96 - 2,37$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\Delta p_{dis} = 51,59 \text{ Pa(N/m}^2\text{)/}}$$

El valor de la depresión disponible a la base de la chimenea (punto “p”, cálculo del tramo vertical) debe ser superior a la depresión requerida al final del tramo horizontal (punto “s”, cálculo del tramo horizontal):

$$\Delta p_{dis} \geq \Delta p_{req}$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{\Delta p_{dis} = 51,59 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}} \geq \underline{\Delta p_{req} = 30,92 \text{ Pa(N/m}^2\text{)}}$$

Por los resultados obtenidos hasta el momento, se puede deducir que, el cálculo en los diferentes tramos, está dentro de los márgenes de diseño.

6.4.- VERIFICACIONES DEL CÁLCULO DE DISEÑO

6.4.1.- Comprobación de la depresión en la base de la chimenea.

Para garantizar que las variaciones de caudal másico de los productos de la combustión no produzcan variaciones excesivas de las presiones en el interior de la chimenea, la depresión en la base de esta debe ser superior al valor numérico de su altura eficaz (H).

$$\Delta p_{dis} > H \quad ; \quad \text{Por lo tanto: } \underline{51,59 > 10/}$$

Por lo tanto, vemos que se cumple la comprobación.

6.4.2.- Comprobación de la velocidad media.

La velocidad media de los productos de la combustión en la chimenea será superior al valor expresado por la siguiente ecuación:

$$v_{\min} = \frac{3080 + 34 \cdot H + (280 + 8 \cdot H) \cdot \log(\dot{m})}{2700} \quad ; \quad \text{siendo: } H = 10\text{m}; \dot{m} = 0,079\text{kg/seg}$$

Remplazando en la ecuación anterior, tenemos:

$$v_{\min} = \frac{3080 + 34 \cdot 10 + (280 + 8 \cdot 10) \cdot \log(0,079)}{2700}$$

$$\text{Por lo tanto: } \underline{v_{\min} = 1,11 \text{ (m/s)}}$$

$$\text{-Tramo Horizontal: } \underline{v_m = 3,46 \text{ (m/s)}} > \underline{v_{\min} = 1,11 \text{ (m/s)}}$$

$$\text{-Tramo Vertical: } \underline{v_m = 1,19 \text{ (m/s)}} > \underline{v_{\min} = 1,11 \text{ (m/s)}}$$

Por lo tanto, también se cumple la comprobación.

6.4.3.- Comprobación de la esbeltez de la chimenea.

La esbeltez de la chimenea, definida como la relación entre la altura efectiva H y el diámetro hidráulico interior D_{hi} , ambos medidos en metros, debe cumplir la condición siguiente, en función de la rugosidad de la pared interior:

Para $r < 1 \text{ mm}$.
$$\frac{H}{D_{hi}} < 200$$

Como $r = 0,7 \text{ mm}$ tenemos:
$$\frac{10}{0,35} < 200$$

Por lo tanto: $28,5 < 200$

En este caso la comprobación también se cumple.

6.4.4.- Comprobación de sección de chimenea existente.

El procedimiento de comprobación es similar al de cálculo, con esta diferencia: en lugar de asumir una velocidad media de los humos (véase apartado 9.1.2, punto 3) para calcular la sección transversal, se calcula la velocidad media con la ecuación:

$$v = \frac{\dot{V}}{A_s}$$

Tanto para el tramo horizontal como para el tramo vertical.

Tramo horizontal:
$$v = \frac{0,114}{0,033} \quad ; \text{ Por lo tanto: } \underline{v = 3,46 \text{ m/seg/}}$$

Tramo vertical:
$$v = \frac{0,114}{0,096} \quad ; \text{ Por lo tanto: } \underline{v = 1,19 \text{ m/seg/}}$$

6.4.5.- Condensaciones

La temperatura de la pared interior en la boca de salida de la chimenea se calculará mediante la expresión:

$$T_i = T_{hs} - \frac{U}{h_i} \cdot (T_{hs} - T_a)$$

$$T_i = 504,95 - \frac{0,052}{8,91} \cdot (504,95 - 283,95)$$

$$\underline{T_i = 503,66 \text{ K/}} \rightarrow \underline{T_i = 230,5 \text{ °C/}} > 130 \text{ °C}$$

La temperatura de la pared interior en la boca de salida de la chimenea es mayor que 130°C por lo tanto también se cumple con la comprobación.

6.5.-PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como presentación de los resultados del cálculo, se presentarán los datos de partida y, separadamente para los tramos horizontal y vertical, en su caso, los datos siguientes:

6.5.1.-Tramo horizontal:

- temperatura media de los humos: $\underline{T_{hm} = 503,15 \text{ K/}}$
- Caudal volumétrico de los humos: $\underline{v = 0,114 \text{ m}^3/\text{seg/}}$
- Depresión requerida y depresión disponible a la base de la chimenea:
 $\underline{\Delta p_{req} = 50,52 \text{ Pa(N/m}^2\text{)/;}} \quad \underline{\Delta p_d = 0/}$
- Velocidad media de los gases: $\underline{v_m = 3,46 \text{ m/s/}}$
- Medidas transversales de la chimenea: $\underline{\text{diámetro} = 0,2\text{m/}}$
- velocidad de salida de los humos de la boca de la chimenea: $\underline{v_m = 3,46 \text{ m/s/}}$

6.5.2.-Tramo vertical:

- temperatura media de los humos: $\underline{T_{hm} = 503,36 \text{ K/}}$
- Caudal volumétrico de los humos: $\underline{v = 0,114 \text{ m}^3/\text{seg/}}$
- Depresión requerida y depresión disponible a la base de la chimenea:
 $\underline{\Delta p_{dis} = 551,67\text{Pa(N/m}^2\text{)/;}} \quad \underline{\Delta p_d = 0/}$
- Velocidad media de los gases: $\underline{v_m = 1,19 \text{ m/s/}}$
- Medidas transversales de la chimenea: $\underline{\text{diámetro} = 0,35\text{m/}}$
- velocidad de salida de los humos de la boca de la chimenea: $\underline{v_m = 1,19 \text{ m/s/}}$

6.6.- DETALLES DE LA CHIMENEA DISEÑADA

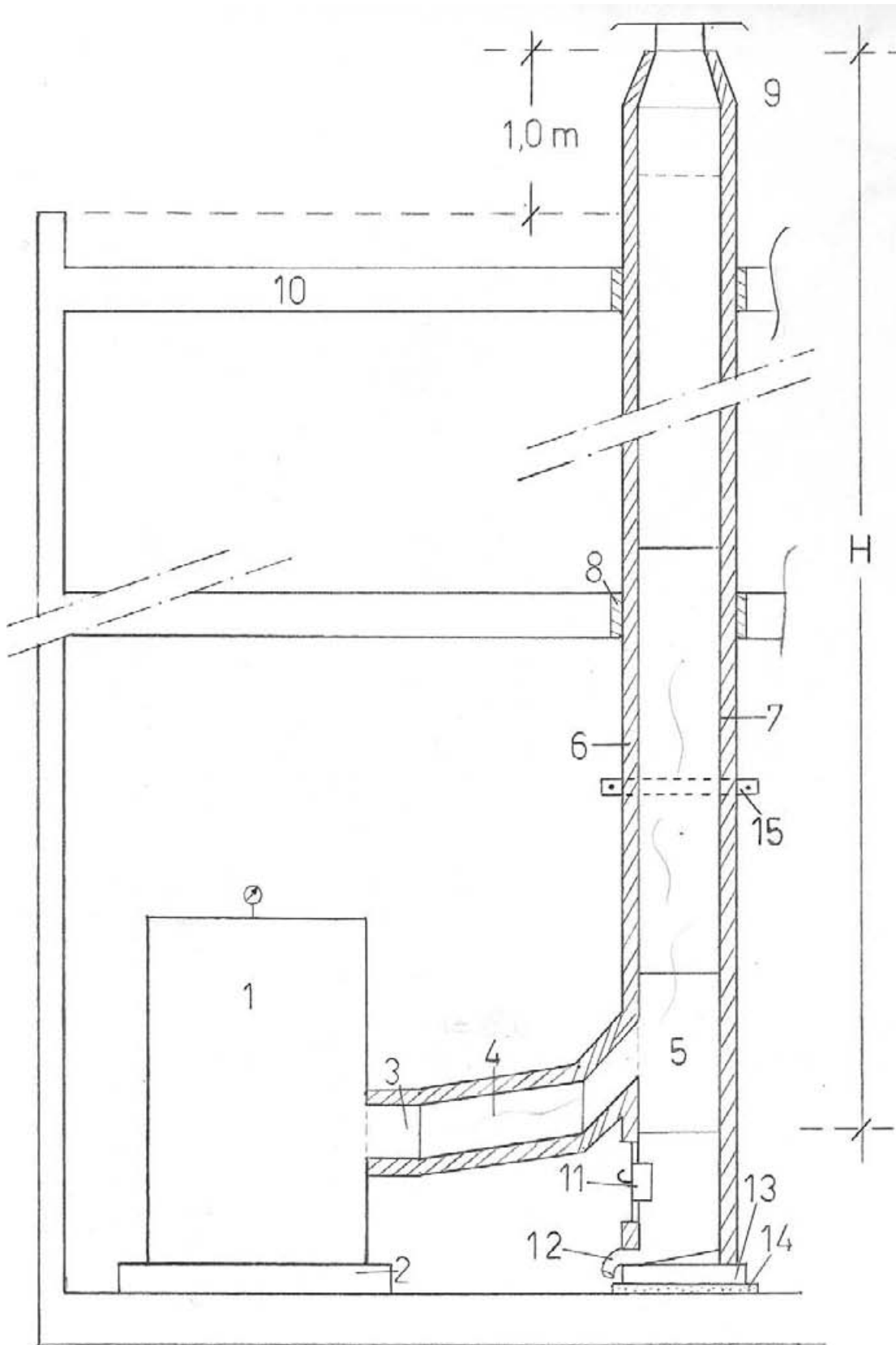


Figura nº 15: Detalles de chimenea diseñada

6.6.1.-DETALLES DEL DISEÑO DE CHIMENEA CALCULADA

Todos las piezas de la chimenea serán de acero inoxidable por su gran resistencia a los ácidos y su pequeño poder higroscópico las uniones de estas serán con empalmes roscados y a prueba de gases.

Toda la chimenea en su recorrido ira aislada con lana mineral, con las características ya mencionadas en los cálculos anteriores.

6.6.1.2-Tramo Horizontal:

Este tramo tendrá una Inclinação mínima del 3%, desde la salida de la caldera hasta la unión con el tramo vertical.

1. Caldera de fierro fundido para petróleo o gas, sin quemador, funcionamiento con regulación Logamatic y sonda exterior. Buderus G315/140.
2. Base niveladora de hormigón para emplazamiento de la caldera $e = 0,1\text{m}$.
3. Unión tramo horizontal-caldera de acero inoxidable diámetro = $0,2\text{m}$; $e = 4\text{mm}$.
4. Ducto horizontal de chimenea de acero inoxidable, $e = 4\text{mm}$; diámetro= $0,20\text{m}$; largo = $1,5\text{m}$; rugosidad = $0,7\text{mm}$
5. Unión Tes con flujo convergente de diámetros distintos, de aumento brusco ($0,20\text{-}0,35\text{m}$); unión tramo horizontal-tramo vertical. De acero inoxidable, $e = 4\text{mm}$.

6.6.1.3.-Tramo Vertical:

Este tramo será completamente a plomo sin desviaciones en su recorrido, completamente aislado, y fijado al edificio por medio de platinas metálicas. Apoyado sobre una barrera contra la humedad y base de apoyo ubicada en el radier del edificio.

Este tramo tendrá una altura libre sobre el edificio de $1,0\text{m}$; para así facilitar la buena ventilación de esta, y el tiro de la chimenea sea el óptimo.

6. Lana mineral; densidad = 50 Kg/m^3 , espesor = 50mm ; $\lambda_{n(\text{lana mineral})} = 0,042\text{ (W/m}\cdot\text{K)}$

7. Ducto vertical de chimenea de acero inoxidable, $e = 4\text{mm}$; diámetro = 0,35m; rugosidad = 0,7mm; altura (H) = 10 m.
8. Aislamiento térmico en el paso de losas.
9. Cono reductor de acero inoxidable, $e = 4\text{mm}$
10. Cubierta plana del edificio.
11. Registro de limpieza con barrera contra condensaciones.
12. Desagüe de las condensaciones, pvc = 40mm.
13. Base de apoyo para la chimenea de hormigón $e = 0,07\text{m}$.
14. Barrera contra humedad (caucho).
15. Sistema de fijación al edificio, platinas del mismo material que la chimenea, con una holgura de 10mm. alrededor de la misma, separadas cada 2,5 m. en el tramo vertical.

CONCLUSIONES

El diseño de chimeneas de calefacción muchas veces se realiza sin utilizar una metodología apropiada, lo que puede ocasionar un tiro insuficiente, que no es capaz de hacer ingresar aire en cantidad suficiente para una combustión adecuada, produciendo combustión incompleta, bajando la eficiencia de la caldera y aumentando la emisión de contaminantes. O bien, provocando un exceso de tiraje, que produce humos limpios pero a la vez reduce la eficiencia de la transferencia de calor al interior de la caldera.

No se encontraron métodos que permitieran realizar el cálculo térmico en forma completa y a la vez simple. Por ejemplo Hütte. 1957. Manual del ingeniero, nos proporciona una metodología de cálculo de tiro necesario en diferentes puntos para el buen funcionamiento de la caldera, pero nada dice del diámetro de la chimenea ni del material para confeccionarla.

Pero el método planteado por AENOR, 2003. Instalaciones Térmicas en Edificios, mostró ser aplicable a este tipo de chimeneas, tal como lo muestra el ejemplo de aplicación indicado en el capítulo VI. Si bien el método contiene numerosos pasos, la información que requiere normalmente está disponible al alcance del profesional que diseña la chimenea y la otra parte de la información se puede obtener de la propia norma. Este método está basado principalmente en las aplicaciones de la mecánica de fluidos a gases, pero considerando no sólo la teoría del tiro natural, sino también los efectos de la pérdida de calor a través de la propia chimenea y las características de los humos asociados a los diferentes tipos de combustibles utilizados por las calderas

BIBLIOGRAFÍA

- Hütte. 1957. Manual del ingeniero; Producción de tiro. 2 Ed. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A. Pág. 471,472.
- Heinrich – Schmitt. 1998. Tratado de Construcción; Chimeneas e instalación de calefacción. 7 Ed. México, Editorial Gustavo Gili, S.A. Pág. 717-735
- NCH 431 of 77. Construcción; sobrecargas de nieve.
- AENOR, 2003. Instalaciones Térmicas en Edificios. 4 Ed. UNE 123-001-94. Chimeneas; Cálculo y Diseño.
- ANWO (2007). Equipos de climatización. Productos. Calderas. Disponible en: http://www.anwo.cl/frame_lineas.php?linea=1. Consultado el: 05 de julio del 2006.
- Dirección general de aeronáutica civil. Dirección meteorológica de Chile. Climas de Chile. Disponible en: <http://www.meteochile.cl/climas/climas.html>. Consultado el: 10 de agosto del 2006.
- Registro técnico de materiales. Aislantes térmicos. Conductividad térmica. Disponible: <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/referenciaTecnicaDetalle>. Consultado el: 12 de marzo del 2007.
- Ricardo García San José (2006). Ventilaciones de viviendas con calderas individuales a gas. Disponible en: <http://www.naturgas.es/html/public/es/documentos/evacuaciónhumos.pdf>. Consultado el: 16 de abril del 2007.