

Julio 2005

TÍTULO

Cálculo y diseño de chimeneas metálicas

Guía de aplicación

Calculation and design of metal chimneys. Application guide.

Norme de calcul et mise en oeuvre pour conduits de fumé métalliques. Guide d'application.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE 123001 de enero 1994, UNE 123001 Erratum de mayo de 1997, UNE 123001/1M de enero de 2002, UNE 123001/2M de junio de 2003.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 123 *Chimeneas* cuya Secretaría desempeña AFECH.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 29622:2005

© AENOR 2005
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

39 Páginas

Grupo 20

0 INTRODUCCIÓN

La anulación de las Normas UNE 123002:1995 "Chimeneas. Chimeneas modulares metálicas" y UNE 123001:1994 "Chimeneas. Cálculo y diseño", como consecuencia de la publicación en España de las Normas Europeas armonizadas UNE-EN 1856-1 y UNE-EN 1856-2, así como de las Normas de cálculo UNE-EN 13384-1 y UNE-EN 13384-2, implica la desaparición de las estipulaciones en ellas contenidas sobre cálculo, diseño y aplicación para chimeneas, algunos de cuyos aspectos no están recogidos en las citadas normas europeas.

Con el fin de evitar este vacío normativo que pudiera producir confusiones e incluso riesgos importantes en la ejecución de las instalaciones, es necesario actualizar la Norma UNE 123001 manteniendo aquellas estipulaciones no recogidas en las nuevas normas, y adaptándolas a los nuevos conceptos introducidos en la normativa europea sobre chimeneas.

Con la actualización de la Norma UNE 123001 se pretender mantener, al menos, los niveles de seguridad, garantía de funcionamiento, durabilidad, respeto al medio ambiente y a la calidad de vida de los usuarios, ya conseguidos en la normativa nacional e incluso, si cabe, potenciarlos de acuerdo con las recomendaciones que sobre los aspectos medioambientales se reciben de la Comisión Europea.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Las estipulaciones sobre diseño de esta norma serán de aplicación para las instalaciones de todo tipo de chimeneas metálicas, excepto las autoportantes, destinadas a la evacuación de productos de la combustión de cualquier clase de aparato, caldera, motor, horno, grupo electrógeno y en general, de aparatos que produzcan gases de combustión que hayan de ser conducidos al exterior, y que formen parte de las instalaciones térmicas en los edificios.

El ámbito de aplicación de esta norma en cuanto al cálculo de sección de chimeneas se limita exclusivamente a aquellas aplicaciones no recogidas en las Normas Europeas UNE-EN 13384-1 y UNE-EN 13384-2, es decir, chimeneas colectivas con conducto secundario que dan servicio a más de un generador atmosférico.

Esta norma será de aplicación sin perjuicio de la existencia de otras normas específicas para instalaciones de carácter industrial que regulan aspectos medioambientales o de dispersión de los productos de la combustión.

2 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 38300 – *Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Generalidades.*

UNE-EN 1652 – *Cobre y aleaciones de cobre. Chapas, bandas y discos para usos generales.*

UNE-EN 1856-1 – *Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 1: Chimeneas modulares.*

UNE-EN 1856-2 – *Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 2: Conductos interiores y conductos de unión metálicos.*

UNE-EN 10215 – *Bandas (chapas y bobinas) de acero recubiertas en continuo de aleación aluminio-cinc (AZ). Por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*

UNE-EN 10142 – *Bandas (chapas y bobinas) de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.*

UNE-EN 10154 – *Bandas y chapas de acero recubiertas en continuo por inmersión en caliente de aluminio-silicio (AS). Condiciones técnicas de suministro.*

UNE-EN 13384-1 – *Chimeneas. Métodos de cálculo térmicos y de fluidos dinámicos. Parte 1: Chimeneas que se utilizan con un único aparato.*

UNE-EN 13384-2 – *Chimeneas. Métodos de cálculo térmicos y de fluido-dinámicos. Parte 2: Chimeneas que prestan servicio a más de un generador de calor.*

EN 10088-1 – *Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables.*

3 DEFINICIONES

3.1 chimenea: Estructura compuesta de una o varias paredes que encierran uno o varios pasos de humos que evacuan los productos de la combustión desde la salida del aparato que los genera hasta la cubierta del edificio. Esta estructura se compone habitualmente de un tramo horizontal o conducto de unión y de un tramo vertical.

4 ELECCIÓN DE LA CHIMENEA: DESIGNACIÓN

La designación de la chimenea tiene que ser conforme con la Norma UNE-EN 1856-1 o la Norma UNE-EN 1856-2, según corresponda, en los siguientes conceptos:

4.1 Clase de temperatura

La chimenea se seleccionará con una clase de temperatura igual o superior a la temperatura de humos a la salida del aparato, funcionando éste a potencia máxima nominal.

4.2 Presión

Si la chimenea se calcula para funcionamiento en presión negativa (depresión), de acuerdo con las Normas UNE-EN 13384-1 (un único aparato) o UNE-EN 13384-2 (más de un aparato) o de acuerdo con el anexo A de esta norma (chimeneas colectivas con conducto secundario), la designación de la chimenea será al menos tipo N1. Para aquellos tramos en los que la chimenea discurra sin cerramiento (galería técnica, falso techo, etc.) por locales habitados, la designación de la misma en los tramos citados será al menos de tipo P2.

Si la chimenea se calcula para funcionamiento en presión positiva (sobrepresión) de acuerdo con la Norma UNE-EN 13384-1, el tipo de presión será:

- Cuando la sobrepresión existente a la salida de la caldera no sea superior a 200 Pa, la designación será como mínimo de tipo P1. Para aquellos tramos en los que la chimenea discurra sin cerramiento (galería técnica, falso techo, etc.) por locales habitados, la designación de la misma en los tramos citados será al menos de tipo H2.
- Cuando la sobrepresión existente a la salida de la caldera sea superior a 200 Pa, la designación será como mínimo de tipo H1, y no atravesará durante su recorrido ningún local habitado si a lo largo de este tramo no está provisto de un cerramiento adecuadamente ventilado.

4.3 Resistencia a la corrosión: Durabilidad

4.3.1 Pared interior. Este punto será de aplicación a las chimeneas metálicas en general: chimeneas modulares, conductos interiores para entubamiento o para renovación de chimeneas ya existentes, y chimeneas hechas en obra con conductos de humos metálicos.

Existen actualmente dos posibilidades para designar una chimenea en función de su resistencia a la corrosión: una que se basa en la superación de uno de los tres ensayos de corrosión existentes en la actualidad, V1, V2 y V3; y otra, Vm, a través de la cual el fabricante simplemente declara el tipo de material y el espesor de la pared interior.

Según el combustible y las condiciones de trabajo de la chimenea (húmedas o secas), se establecen las calidades mínimas para el material de la pared interior así como las clases de resistencia a la corrosión, que figuran en la tabla 1.

Tabla 1

Condiciones de trabajo	Combustible					
	Gas		Gasóleo		Fuel y sólidos	
	Calidad del acero	Clase de Corrosión	Calidad del acero	Clase de Corrosión	Calidad del acero	Clase de Corrosión
Secas (D)	1.4301	V1, V2 o V3	1.4301	V2 o V3	1.4404 ó 1.4571	V2 ó V3
Húmedas (W)	1.4404 ó 1.4571	V1 ó V2	1.4404 ó 1.4571	V2	–	–

NOTA – Designaciones de los aceros en la tabla según Norma UNE-EN 10088-1.

Si la chimenea no ha sido sometida a ninguno de los ensayos de corrosión correspondientes a las clases V1, V2 o V3, en cuyo caso ya quedaría establecido el espesor mínimo, se fijan en la tabla 2 los espesores mínimos exigidos para la pared interior en función del diámetro, manteniéndose las calidades del acero definidas en función de las condiciones de trabajo en el cuadro anterior:

Tabla 2

Diámetros interiores (mm)	Menor o igual que 300	Mayor que 300 y menor o igual que 600	Mayor que 600
Espesor pared interior (mm)	0,4	0,5	0,6

4.3.2 Pared exterior. Cuando la chimenea discorra por el interior de obra, la pared exterior podrá ser de los siguientes materiales:

- Acero inoxidable, según la Norma UNE-EN 10088-1.
- Aluzinc. Recubrimiento AZ 150 según la Norma UNE-EN 10215.
- Chapa galvanizada. Recubrimiento Z 275 según la Norma UNE-EN 10142.
- Aluminizado. Recubrimiento AS 120 según la Norma UNE-EN 10154.
- Aluminio. Aleación L-3051 según la Norma UNE 38 300.
- Cobre según la Norma UNE-EN 1652.

Los espesores mínimos para la pared exterior en función del material serán los siguientes:

- Para el acero inoxidable, el aluzinc, la chapa galvanizada y el aluminizado: el mismo que el de la pared interior.
- Para el cobre y el aluminio los indicados en la tabla 3:

Tabla 3

Diámetros interiores (mm)	Menor o igual que 300	Mayor que 300 y menor o igual que 600	Mayor que 600
Espesor pared exterior (mm)	0,5	0,6	0,8

Cuando la chimenea discurra por el exterior de obra, la pared exterior deberá ser de acero 1.4301 ó 1.4401, o cobre, y siempre acero 1.4401 o calidad superior en ambientes marinos, o en ambientes contaminantes industriales que permitan la utilización de esos aceros para evitar la corrosión.

4.4 Resistencia al fuego

Para combustibles sólidos, la designación de la chimenea será G, es decir, resistente al fuego.

4.5 Distancia mínima a materiales combustibles

En ningún caso se admitirán chimeneas en cuya designación se especifique una distancia mínima a materiales combustibles superior a 75 mm.

5 CONDICIONES DE EJECUCIÓN

5.1 Generalidades

En edificación nueva, así como para la renovación de las instalaciones ya existentes, la evacuación de los productos de la combustión ha de ser siempre a cubierta. En el caso de instalaciones ya existentes, si no pudiera realizarse la evacuación a cubierta, se permitirá la evacuación a fachada en aparatos estancos o abiertos de tiro forzado, debiendo justificarse dicha imposibilidad y siempre que la reglamentación vigente aplicable lo permita.

5.2 Chimeneas que discurren por el exterior de obra

Deberán seguirse las instrucciones del fabricante en cuanto a la distancia máxima permitida entre soportes. En ningún caso se admitirán distancias superiores a 4 m entre soportes.

Deberán seguirse igualmente las instrucciones del fabricante en cuanto a la longitud máxima autoportante desde el último soporte de la chimenea. Esta longitud máxima autoportante no podrá ser superior a 3 m, salvo que se utilicen vientos, mástiles o estructuras de acompañamiento que cumplan la normativa vigente.

5.3 Chimeneas ubicadas dentro de patinillos de obra o galería técnica de instalaciones

En los tramos de chimenea que discurran por esta ubicación, en la que suelen ir acompañados de otros tipos de conductos: eléctricos, de gas, de ventilación etc., a los que pueden afectar, la temperatura en la pared exterior de la chimenea en condiciones de funcionamiento a potencia máxima nominal no debe superar los 85 °C.

Cuando la chimenea metálica vaya por el interior de un conducto de obra se ha de verificar que en condiciones de funcionamiento a potencia nominal y a temperatura ambiente, la temperatura de la pared de los locales colindantes no es superior en 5° a la temperatura ambiente del proyecto del local, y en cualquier caso no superior a 28 °C.

6 DISEÑO

6.1 Chimeneas que prestan servicio a un solo aparato de calefacción

6.1.1 Tramo horizontal o conducto de unión. Ha de ser lo más corto posible y con una pendiente mínima del 3% hacia el generador para facilitar la recogida de los condensados que se formen.

Se evitarán en lo posible los cambios de dirección y de sección. Cuando sean necesarios cambios de dirección, deberán diseñarse con el mínimo ángulo de desviación posible. Los cambios de sección se harán con el mínimo ángulo de divergencia posible.

6.1.2 Tramo vertical. Se evitarán en lo posible los cambios de dirección y de sección. Cuando sean necesarios cambios de dirección deberán diseñarse con el mínimo ángulo de desviación posible. Los cambios de sección se harán con el mínimo ángulo de divergencia posible.

La base del tramo vertical dispondrá de una zona de recogida de hollín, condensados y pluviales, provista de un registro de limpieza y de un manguito de drenaje, el cual se conectará, en instalaciones que funcionen en condiciones húmedas, a un sistema de neutralización de los condensados previamente a su conducción a la tubería de saneamiento.

6.2 Chimeneas que prestan servicio a más de un aparato de calefacción (chimeneas colectivas)

6.2.1 Generalidades. La chimenea colectiva que preste servicio a aparatos de calefacción servirá única y exclusivamente para este fin, y solamente se podrán conectar generadores del mismo tipo (estancos o atmosféricos) y que utilicen el mismo combustible.

6.2.2 Conducto de unión. Ha de ser lo más corto posible y con una pendiente mínima del 3% hacia el generador para facilitar la recogida de los condensados que se formen.

Se evitarán en lo posible los cambios de dirección y de sección. Cuando sean necesarios cambios de dirección deberán diseñarse con el mínimo ángulo de desviación posible. Los cambios de sección se harán con el mínimo ángulo de divergencia posible.

En instalaciones en cascada (véase la figura 1), el conducto de unión común (colector) deberá ser rectilíneo en toda su longitud y carecer de estrangulamiento de sección en cualquier punto.

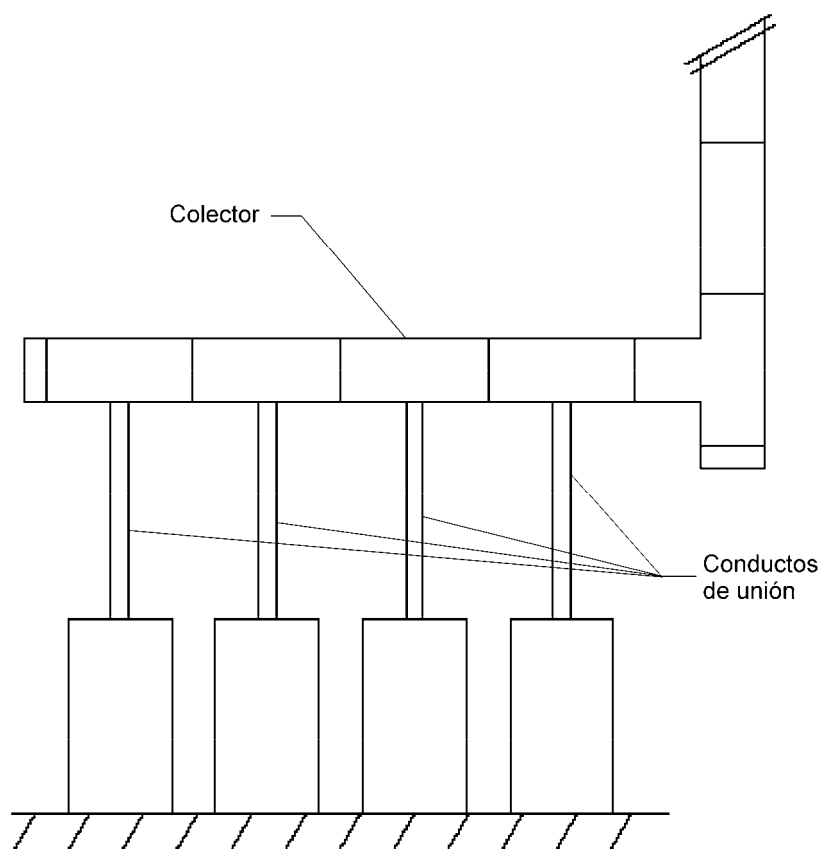


Fig. 1 – Ejemplo de instalación en cascada

También en instalaciones en cascada, el conducto de unión individual de cada una de las calderas hacia el colector común (véase la figura 1) deberá ser lo más directo y alto posible. En caso de instalaciones en cascada de calderas atmosféricas, cada uno de los citados conductos deberá incorporar además un regulador de tiro de regulación manual o automática.

6.2.3 Tramo vertical. Deberá ser recto y vertical en toda su longitud y carecer de estrangulamiento de sección en cualquier punto.

La unión entre el tramo horizontal o conducto de unión y el vertical se hará preferentemente mediante una pieza en te con ángulo sobre la horizontal de 45° para evitar la formación de turbulencias.

La base del tramo vertical dispondrá de una zona de recogida de hollín, condensados y pluviales, provista de un registro de limpieza y de un manguito de drenaje, el cual se conectará, en instalaciones que funcionen en condiciones húmedas, a un sistema de neutralización de los condensados previamente a su conducción a la tubería de saneamiento.

El tramo vertical debe estar dotado en su parte superior de un remate que funcione como aspirador estático.

Además, en instalaciones que den servicio a calderas estancas, las chimeneas deberán estar provistas en su base inferior de un dispositivo cortatiros.

En las chimeneas colectivas con conducto secundario que dan servicio a calderas atmosféricas, el diámetro hidráulico del conducto secundario no ha de ser menor de 120 mm y su longitud ha de ser similar a la altura equivalente entre plantas.

La altura del conducto secundario de la última caldera no debe ser menor de 2 m y debe quedar como mínimo 1 m por debajo de la salida de la chimenea.

6.2.4 Conexiones. En chimeneas colectivas, el número máximo de calderas conectadas a la misma vertical será de:

- 10 en caso de chimeneas equilibradas*.
- 5 en caso de chimeneas no equilibradas, excepto para chimeneas colectivas con conducto secundario que presten servicio a calderas atmosféricas, en cuyo caso el número máximo de calderas conectadas a la misma vertical será de 7.

En todos los casos anteriores no se permite realizar más de 1 conexión por planta.

7 REMATE DE LA CHIMENEA

7.1 Diseño

En los remates de las chimeneas colectivas concéntricas (entrada de aire – salida de humos) la entrada de aire estará situada como mínimo a 0,4 m por debajo del punto de evacuación de los humos.

7.2 Distancias

7.2.1 Distancias mínimas del remate de la chimenea para el correcto funcionamiento de la misma.

7.2.1.1 Distancias respecto al propio tejado o cubierta.

Caso A: El tejado es plano (inclinación inferior a 20°):

- El remate de la chimenea debe situarse a más de 1 m por encima de la cubierta o de la cumbre del tejado (véase la figura 2a).

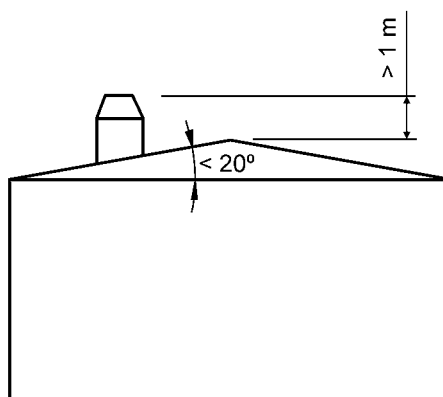


Fig. 2a

* Se define chimenea equilibrada (véase la Norma UNE-EN 13384-2) como aquella en la que el punto de entrada al conducto del aire de combustión está adyacente al punto de descarga de los productos de la combustión procedentes del conducto de humos, estando la entrada y la salida situadas de tal modo que los efectos del viento se equilibran sustancialmente.

Caso B: El tejado es inclinado (inclinación superior o igual a 20°)

En este caso, debe cumplirse una de las dos condiciones siguientes:

- el remate de la chimenea está situado a más de 1 m por encima de la cumbrera del tejado (véase la figura 2b), o
- la distancia horizontal desde el remate de la chimenea a la superficie del tejado es superior a 2,5 m (véase la figura 2c).

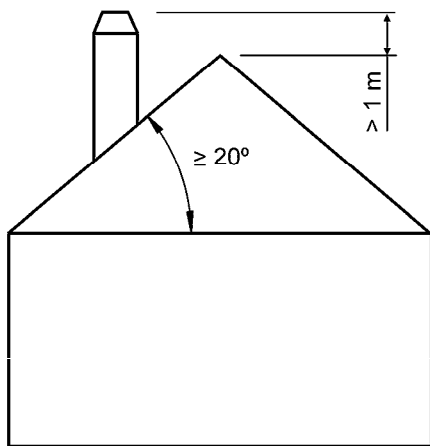


Fig. 2b

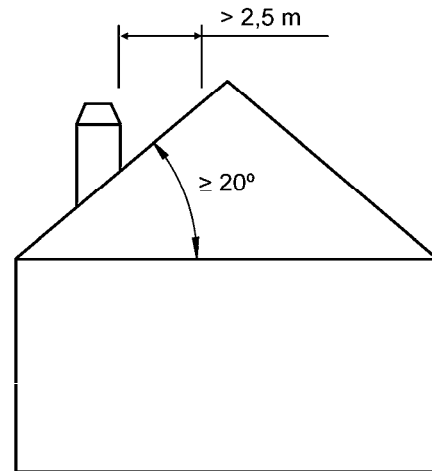


Fig. 2c

7.2.1.2 Distancias respecto a obstáculos en el propio tejado o cubierta:

Debe cumplirse al menos una de las condiciones siguientes:

- el remate se eleva más de 1 m por encima de dicho obstáculo (véase la figura 2d), o
- la chimenea se instala a una distancia horizontal del obstáculo mayor que 2 veces la altura del mismo (véase la figura 2e).

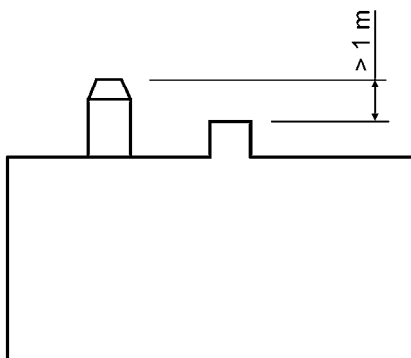


Fig. 2d

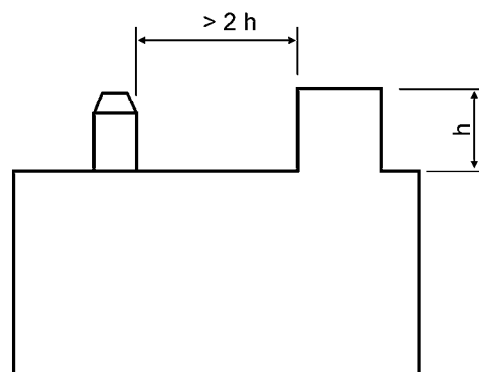


Fig. 2e

7.2.1.3 Distancias respecto a obstáculos exteriores al edificio:

- El remate debe elevarse más de 1 m por encima de la parte más alta de cualquier edificación situada en un radio inferior a 10 m respecto a la salida de la chimenea (véase la figura 2f).
- El remate debe situarse simplemente por encima de cualquier edificación situada en un radio de entre 10 m y 20 m respecto a la salida de la chimenea (véase la figura 2g).

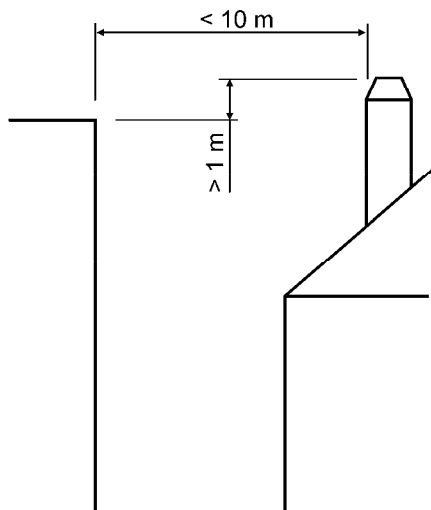


Fig. 2f

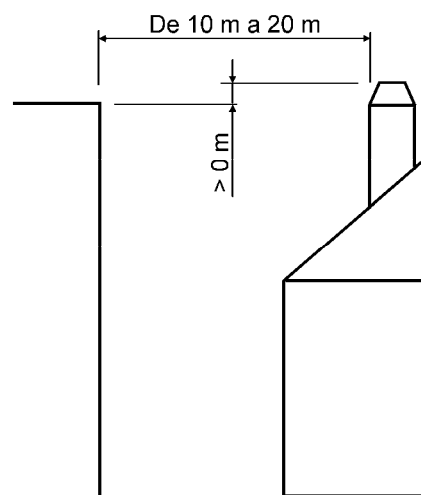


Fig. 2g

7.2.2 Distancias mínimas del remate de la chimenea según criterios medioambientales.

Además de lo expuesto anteriormente, deberán cumplirse las siguientes condiciones de situación del remate de la chimenea para garantizar la correcta evacuación de los humos sin que afecten a las condiciones medioambientales, distinguiendo los casos siguientes:

7.2.2.1 Existen aberturas o ventanas situadas en el mismo tejado o cubierta donde está ubicada la chimenea.

En este caso debe cumplirse lo siguiente:

- El remate de la chimenea debe elevarse más de 1 m por encima del punto más elevado de cualquier abertura o ventana (véase la figura 2h) y
- La distancia, medida sobre la superficie del tejado o cubierta, desde la chimenea hasta el punto más próximo de la abertura o ventana (véase la figura 2i) deberá ser mayor de:
 - 2 m cuando la chimenea está situada por delante de la abertura en el sentido ascendente de la pendiente del tejado, o
 - 1 m cuando la chimenea está situada a los lados o detrás de la abertura o ventana en el sentido ascendente de la pendiente del tejado.

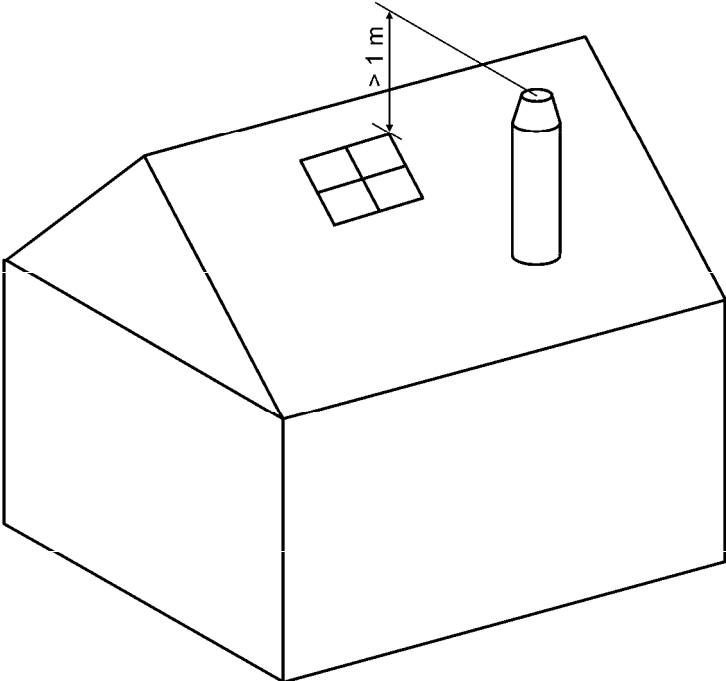


Fig. 2h

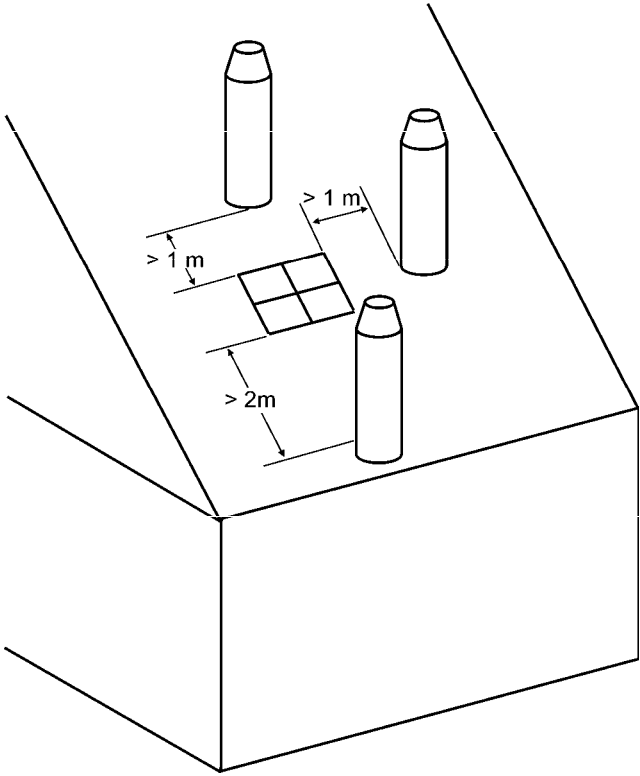


Fig. 2i

7.2.2.2 Existen otros edificios situados en el entorno.

Deberá verificarse que se cumplen las condiciones expuestas en el apartado 7.2.1.3.

7.2.2.3 Consideraciones sobre vientos dominantes

En cualquiera de los dos casos expuestos anteriormente (véanse los apartados 7.2.2.1 y 7.2.2.2) ha de tenerse en cuenta la dirección de los vientos dominantes en la zona, que en ningún caso deben provocar la entrada de los humos en locales habitados.

8 ELEMENTOS ACCESORIOS

Para combustibles sólidos, se dispondrá siempre de los registros de limpieza necesarios de forma que se acceda a toda la longitud del conducto de humos, desde el acoplamiento de la caldera hasta la salida de la chimenea, de forma que se pueda limpiar e inspeccionar. En cada cambio de dirección se habilitará siempre un registro de limpieza.

Para combustibles líquidos y gaseosos esto se hará siempre que se considere necesario.

Asimismo, la chimenea dispondrá de un orificio de medida y control de las condiciones de combustión a la salida de cada generador.

El orificio tendrá un diámetro tal que permita la entrada de la sonda o aparato de medición, debiendo mantenerse las condiciones de estanquidad y resistencia de la chimenea.

9 MONTAJE

Los anclajes a la pared deberán utilizarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante, y han de ser adecuados al material de construcción de la pared, que por sí misma deberá ser capaz de soportar los esfuerzos transmitidos por la chimenea.

La chimenea deberá ser totalmente independiente de los elementos estructurales y de cerramiento del edificio, al que va unida únicamente a través de los anclajes diseñados para permitir la libre dilatación exterior de la chimenea en caso de que ésta pudiera existir.

10 PUESTA EN MARCHA

Las verificaciones a realizar en la puesta en marcha de instalaciones son las siguientes:

- a) Se debe verificar que la chimenea y el conducto de unión tengan una designación acorde con los requerimientos de la instalación, siguiendo los criterios establecidos en el capítulo 4.
- b) Se debe verificar que en el proceso de montaje de la chimenea y del conducto de unión se han seguido las instrucciones del fabricante de la chimenea y de la caldera, así como las indicaciones establecidas en esta norma o en la reglamentación vigente de aplicación.
- c) Se debe comprobar la existencia y correcto dimensionado de las aberturas de ventilación del local de ubicación de la caldera según la reglamentación vigente.
- d) Se debe comprobar el correcto dimensionado de la chimenea de acuerdo con las Normas UNE-EN 13384-1 (un único aparato), UNE-EN 13384-2 (más de un aparato) o el anexo A de esta norma (chimeneas colectivas con conducto secundario para calderas atmosféricas).
- e) Una vez puesta en marcha la instalación y con el generador funcionando a la potencia máxima nominal, y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento del generador y un régimen de temperatura estable en la chimenea, se debe comprobar lo siguiente:
 - Que existe el tiro necesario

- Que la temperatura de salida de humos es inferior o igual a la clase de temperatura de la designación de la chimenea.
- La estanquidad a los humos y a los condensados.
- Que la temperatura de la pared exterior no supera el valor máximo establecido en la tabla 2 del apartado 6.4.2 de la Norma UNE-EN 1856-1.

En caso de instalaciones de chimeneas colectivas de entrada múltiple, estas mediciones se realizarán en todas y cada una de las calderas en funcionamiento y en las tres situaciones siguientes, debiéndose cumplir el orden de realización establecido:

Primero: Con la caldera del piso más bajo funcionando a la potencia máxima nominal, y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento del generador, y el resto apagadas.

Segundo: Con la caldera del piso más alto funcionando a la potencia máxima nominal, y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento del generador, y el resto apagadas.

Tercero: Con todas las calderas funcionando a la potencia máxima nominal y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento de los generadores.

En caso de instalaciones de chimeneas colectivas con calderas en cascada, estas mediciones se realizarán en todas y cada una de las calderas en funcionamiento y en las dos situaciones siguientes, debiéndose cumplir el orden de realización establecido:

Primero: Con la caldera más alejada de la vertical funcionando a la potencia máxima nominal, y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento del generador, y el resto apagadas.

Segundo: Con todas las calderas funcionando a la potencia máxima nominal, y una vez alcanzada la temperatura máxima de funcionamiento de los generadores.

- f) Se debe emitir el correspondiente certificado de puesta en marcha una vez que se han verificado los puntos anteriormente expuestos.

11 MANTENIMIENTO:

Deberán llevarse a cabo las siguientes acciones de mantenimiento de la chimenea y conducto de unión con periodicidad mínima anual:

- Limpieza del conducto de unión y de la chimenea, cuando se utilicen combustibles líquidos o sólidos. La periodicidad en la limpieza deberá ajustarse siempre en función del grado de acumulación de los depósitos de hollín, que dependerá del tipo de generador, del combustible y de las horas de funcionamiento de la instalación.
- Se debe verificar, especialmente en chimeneas en sobrepresión, que se mantienen las condiciones iniciales de estanquidad del sistema, prestando especial atención a los puntos de unión entre los elementos, y al posible deterioro de las juntas de estanquidad, si las hubiera.

12 BIBLIOGRAFÍA

UNE-EN 1443 – *Chimeneas. Requisitos generales.*

UNE-EN 1859 – *Chimeneas. Chimeneas metálicas. Métodos de ensayo.*

UNE-EN 13384-1 – *Chimeneas. Métodos de cálculo térmicos y de fluidos dinámicos. Parte 1: Chimeneas que se utilizan con un único aparato.*

EN 13216-1 – *Chimeneas. Métodos de ensayos para chimeneas. Parte 1: Métodos de ensayo generales.*

ENV 1993-3-2 – *Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 3: Edificación.*

ANEXO A (Normativo)

CÁLCULO Y DISEÑO DE CHIMENEAS COLECTIVAS CON CONDUCTO SECUNDARIO PARA GENERADORES TIPO B, ATMOSFÉRICOS

A.1 Símbolos y definiciones

Para los fines de este anexo, se utilizan las siguientes definiciones específicas:

A.1.1 Conducto principal: Conducto en el que confluyen los humos de los conductos secundarios de los generadores.

A.1.2 Conducto secundario: Conducto que conduce individualmente los humos por el interior de la chimenea colectiva.

A.1.3 Punto de referencia de cálculo: Punto de menor sección y en el que confluye el mayor volumen de gases que puede circular por el conducto principal (véase la figura A.1).

Además, en este anexo se utilizan los siguientes subíndices:

- t: total;
- u: unitario;
- c: cortatiros;
- g: gases de combustión a la salida del generador;
- D_h : diámetro hidráulico (m), que es igual a cuatro veces el área de la superficie transversal del conducto dividida por el perímetro.

A.2 Datos de proyecto

A.2.1 Datos generales

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 o anchura);
- 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 período de funcionamiento de la central;
- dirección de los vientos predominante, con el fin de posicionar correctamente la boca de salida de la chimenea;
- características del combustible empleado (poder comburífero, poder fumígeno, poderes caloríferos inferior y superior);
- potencia térmica útil del generador y rendimiento (por generador debe entenderse el conjunto caldera-quemador);
- caudal másico de los productos de la combustión;
- temperatura de los gases de combustión a la salida del generador;

- contenido de anhídrido carbónico en 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 CO₂ y la presión disponible, son datos que debe suministrar el fabricante del generador y/o quemador. El caudal másico podrá ser calculado como se indica más 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 esté 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 adoptará la sección más grande resultante de los cálculos y se hará la comprobación con el otro combustible.

A.2.2 Datos específicos

- Número de generadores;
- Distancia entre plantas;
- Número de plantas;
- Distancia desde el punto de referencia de cálculo hasta el remate de la chimenea.

A.3 Caudal de los productos de la combustión

A.3.1 Caudal másico

Al caudal másico de los gases de combustión procedentes del generador hay que añadir el caudal másico del aire que entra por el cortatiro. Para el cálculo se considerará el caudal másico del aire que entra por el cortatiro como la mitad del caudal másico de los gases de combustión.

- Caudal másico de los gases de combustión:

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

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

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 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;

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:

$$e = \left(\frac{\text{CO}_2 \text{ máx.}}{\text{CO}_2} - 1 \right) \cdot C_c \quad (\text{A.2})$$

donde

CO₂ 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.

En los anexos B y C el usuario podrá encontrar valores prácticos de las características de algunos combustibles y datos de funcionamiento de generadores de calor, respectivamente.

– Caudal másico del aire:

$$\dot{m}_a = \dot{m} \cdot 0,5 \quad (\text{A.3})$$

– Caudal másico unitario (por caldera):

$$\dot{m}_u = \dot{m} + \dot{m}_a \quad (\text{A.4})$$

– Caudal másico total:

$$\dot{m}_t = \dot{m}_u \cdot n \quad (\text{A.5})$$

donde

\dot{m} es el caudal másico de los gases de combustión de cada generador, en kg/s;

\dot{m}_a es el caudal másico del aire que entra por el cortatiro de cada uno de los generadores, en kg/s;

n es el número de generadores conectados al conducto principal y cuyos caudales confluyen en el punto de referencia de cálculo;

\dot{m}_u es el caudal másico unitario de los humos, producido por cada uno de los generadores, en kg/s;

\dot{m}_t es el caudal másico total de todos los generadores, expresado en kg/s.

A.3.2 Caudal volumétrico

Para calcular el caudal volumétrico de los humos, expresado en m³/s, se utilizarán las siguientes ecuaciones:

- Caudal volumétrico unitario de los humos (por caldera):

$$v_u = \frac{m_u}{\rho_{ec}} \quad (\text{A.6})$$

- Caudal volumétrico total:

$$v_t = \frac{m_t}{\rho_{hm}} \quad (\text{A.7})$$

- Densidad de los humos unitario y total.

$$\rho_{hm} = \frac{101\,325 \cdot (1 - 0,00012 \cdot A)}{R \cdot T_{hm}} \quad (\text{A.8})$$

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 B.

A.4 Temperaturas de los productos de la combustión

A.4.1 Temperaturas

Conocidas las temperaturas de salida de los gases de la caldera y la temperatura del aire que entra por el cortatiros, podemos calcular la temperatura de los humos en el cortatiros de la siguiente forma:

- Temperatura en el cortatiros:

$$T_{ec} = \frac{m \cdot C_p \cdot T_{sg} + m_a \cdot C_{pa} \cdot T_a}{m C_p + m_a C_{pa}} \quad (\text{A.9})$$

- Temperatura de salida y temperatura media de un tramo:

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

$$T_{hs} = T_a + (T_{he} - T_a) \cdot e - f_e \quad (\text{A.10})$$

$$T_{hm} = T_a + \frac{T_{he} - T_a}{f_e} \cdot (1 - e - f_e) \quad (\text{A.11})$$

donde las temperaturas pueden expresarse en K o en °C.

El factor de enfriamiento f_e se calcula con:

$$f_e = \frac{U \cdot S_i}{C_p \cdot \dot{m}} \quad (\text{A.12})$$

donde

U es el coeficiente global de transmisión de calor de la pared de la chimenea, expresado en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

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, expresado en $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, que puede calcularse mediante las ecuaciones indicadas en el capítulo C.6 en función de la temperatura media y del contenido de CO_2 de los humos.

- Coeficiente global de transmisión de calor U :

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

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + \beta \cdot \left(R + \frac{D_{hi}}{D_{hx}} \cdot \frac{1}{h_x} \right) \right]} \quad (\text{A.13})$$

en la que los distintos parámetros se calculan como se indica en los siguientes apartados.

- Coeficiente superficial interior h_i :

El coeficiente superficial interior, expresado en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, se calcula con la ecuación:

$$h_i = \frac{\lambda_h \cdot \text{Nu}}{D_{hi}} \quad (\text{A.14})$$

donde

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

$$\lambda_h = 0,023 + 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{hm} - 273) \quad (\text{A.15})$$

Nu 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 siguiente, suficientemente aproximada:

$$\text{Nu} = 0,0354 \cdot a \cdot \left(\text{Re}^{0,75} - 180 \right) \quad (\text{A.16})$$

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

$$a = 1,011665 + 0,152502 \cdot r - 0,014167 \cdot r^2 \quad (\text{A.17})$$

El número de Reynolds (adimensional) se calcula con la ecuación:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D_{hi}}{v_c} \quad (\text{A.18})$$

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);

ν_c es la viscosidad cinemática de los gases (m²/s), que puede calcularse mediante el polinomio:

$$\nu_c = -6,361 \cdot 10^{-6} + 4,426 \cdot 10^{-8} \cdot T_{hm} + 7,523 \cdot 10^{-11} \cdot T_{hm}^2 \quad (\text{A.19})$$

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 $h_i < 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ se tomará $h_i = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

– Resistencia térmica de la pared R:

La resistencia térmica de la pared de la chimenea R, expresada en (m² · K)/W, se calcula como suma de la relación entre espesor equivalente del material y conductividad térmica de cada capa que constituye la pared de la chimenea, según la siguiente expresión:

$$R = s \cdot D_{hi} \cdot \sum \left[\frac{1}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \left(\frac{D_{hin} + 2 \cdot \epsilon_n}{D_{hin}} \right) \right] \quad (\text{A.20})$$

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 lados $\leq 1,5$.

– Coeficiente superficial exterior h_x :

Este coeficiente puede tomarse igual a 8 W/(m² · K) para chimeneas situadas en el interior y 25 W/(m² · K) para chimeneas situadas en el exterior del edificio. En caso de chimeneas que discurren en parte por el interior y en parte por el exterior, el coeficiente h_x se calculará como media ponderal de 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.

– 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 tomará, según los casos, el valor reflejado en la tabla siguiente:

Chimenea	todo-nada	todo-poco-nada	modulante
metálica	0,5	0,6	0,8
de obra	0,8	0,85	0,9

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

- Diámetros hidráulicos:

Los diámetros hidráulicos se calcularán de acuerdo a la definición del capítulo A.1, mediante las siguientes expresiones:

- para chimeneas circulares: $D_h = D$; (A.21)

- para chimeneas rectangulares de lados a y b: $D_h = 2 \cdot a \cdot b / (a + b)$; (A.22)

- para chimeneas cónicas de diámetros D_s y D_e :

$$D_h = \left[2 \cdot D_e^4 \cdot D_s^4 / (D_e^4 + D_s^4) \right]^{1/4} \quad (A.23)$$

A.4.2 Calor específico a presión constante

- Calor específico a presión constante de los gases de combustión: véase el capítulo C.6.
- Calor específico a presión constante del aire: 1 007,38 J/kg K.
- Calor específico a presión constante de productos de la combustión:

$$C_{pu} = C_p + \frac{m_a}{m_u} (C_{pa} - C_p) \quad (A.24)$$

A.5 Procedimiento de cálculo

A.5.1 Consideraciones previas

Si hubiera calderas de distinta potencia en una misma chimenea, se debe utilizar para el cálculo de la chimenea la potencia de la mayor.

Es necesario realizar los cálculos para determinar:

- que la depresión disponible existente en la base del conducto secundario de cualquiera de las calderas es superior a la requerida al final del conducto de unión de esa caldera con el conducto secundario;
- que existe tiro efectivo en el punto de referencia de cálculo del conducto principal, con todos los generadores funcionando a plena potencia.

A.5.2 Cálculo de la depresión requerida en el conducto de unión y disponible en el secundario

A.5.2.1 Cálculos generales. Se deben realizar los siguientes cálculos generales:

- 1) Determinación de la potencia térmica útil del generador (ddf).
- 2) Determinación de las características del combustible empleado (dds o anexo B).
- 3) Determinación del rendimiento del generador (ddf).
- 4) Determinación del contenido de CO₂ en los gases (ddf o tabla C.2) y cálculo del exceso de aire mediante la ecuación (A.2), con el coeficiente corrector indicado en la tabla C.3, o bien, determinación directa del exceso de aire (ddf).
- 5) Determinación del caudal másico de los gases de combustión de cada generador según la ecuación (A.1).

- 6) Determinación del caudal másico del aire que entra por el cortatiros de cada generador, (\dot{m}_a) , según la ecuación (A.3).
- 7) Determinación del caudal másico unitario de los humos en el cortatiros de cada generador, (\dot{m}_u) , según la ecuación (A.4).
- 8) Determinación de la temperatura de los gases a la salida de cada generador (ddf).
- 9) Determinación de la temperatura del aire exterior T_a de proyecto (véase el anexo E) y de la altitud sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento de la instalación.
- 10) Determinación de la temperatura de los humos en la entrada del cortatiros de cada generador, T_{ec} , según la ecuación (A.9).
- 11) La presión disponible a la salida de cada generador se considera cero.

A.5.2.2 Cálculo de la depresión requerida en el conducto de unión de cada generador con su conducto secundario. Para calcular la depresión requerida en el conducto de unión de cada generador con su conducto secundario deben realizarse los siguientes cálculos:

- 1) Se determinan las características geométricas del conjunto (diámetro, longitud, número y tipo de desvíos, etc.).
- 2) Se determinan la rugosidad del material.
- 3) Se asumirá, en primera aproximación, una temperatura media de los gases igual a la temperatura de entrada en el cortatiros (T_{ec}) [véase la ecuación (A.9)].
- 4) En base a la altitud sobre el nivel del mar (A) y la constante de elasticidad de los gases (R), se calcula la densidad (ρ_{ec}) mediante la ecuación (A.8), donde T_{hm} es igual a T_{ec} en primera aproximación.
- 5) Se calcula el caudal volumétrico unitario (v_u) según la ecuación (A.6).
- 6) Se calcula el área de la sección transversal del conducto de unión, en función del diámetro elegido.
- 7) Se calcula el calor específico a presión constante de los productos de la combustión según la ecuación (A.24).
- 8) Se calcula el coeficiente global de transmisión de calor (U) según la fórmula (A.13), asumiendo en primera aproximación una temperatura media de los humos igual a la temperatura de entrada en el cortatiros (T_{ec}).
- 9) Se calcula el área de la superficie interior del conducto de unión (S_i), siendo $S_i = p \cdot L$, y donde p es el perímetro en m².
- 10) Se calcula el factor de enfriamiento según la ecuación (A.12), donde $C_p = C_{pu}$ y $\dot{m} = \dot{m}_u$.
- 11) Se calcula la temperatura media de los humos mediante la ecuación (A.11), donde $T_{he} = T_{ec}$.
- 12) Se recalcula desde el punto 4) para obtener con mayor aproximación la temperatura media de los humos.
- 13) Se calcula la temperatura de los humos a la salida del conducto de unión, mediante la ecuación (A.10), donde $T_{he} = T_{ec}$.
- 14) Se calcula la caída de presión al movimiento de los humos en el conducto de unión, según lo indicado a continuación, teniendo en cuenta que $\dot{m} = \dot{m}_u$:

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

$$\Delta p = \left[\sum \left[\rho_{hm} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot \left(f \cdot \frac{L}{D_{hi}} + \sum \xi \right) \right] + \Delta p_d \right] \cdot f_s \quad (A.25)$$

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 juego tienen el siguiente significado:

ρ_{hm} es la densidad media de los humos (kg/m^3) en el tramo considerado, que se calculará con la ecuación (A.8);

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

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

siendo S el área interior de la sección transversal de la chimenea (m^2)

f es el factor de fricción, que podrá obtenerse, de forma exacta, de la ecuación de Colebrook o, también, con suficiente precisión, mediante ecuaciones aproximadas de solución directa en función de la rugosidad de la superficie interior r (mm), del diámetro hidráulico D_{hi} (m) y del número de Reynolds Re (adimensional). Una expresión muy simple, válida para rugosidades (ficticias) 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 capítulo D.7 se indican las rugosidades medias (ficticias) de algunos materiales empleados en la fabricación o construcción de chimeneas.

L es la longitud del tramo considerado (m);

D_{hi} es el diámetro hidráulico de la chimenea (m);

$\Sigma \xi$ es la suma de los coeficientes de las pérdidas de presión localizadas (adimensional) (véase el anexo D);

Δp_d es la variación de presión dinámica desde la entrada a la salida de la chimenea, que se calcula 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 estanquidad);
- efectos de condiciones atmosféricas adversas;
- anomalías 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 las 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: $f_s = 1,5$

15) Se calcula la densidad del aire exterior según la ecuación:

$$\rho_a = \frac{101\,325 (1 - 0,00012A)}{R T_a} \quad (\text{A.26})$$

16) Se calcula el tiro térmico del conducto de unión:

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

$$t = g \cdot H \cdot (\rho_a - \rho_{hm}) \quad (\text{A.27})$$

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 la figura A.3). 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).

17) La depresión requerida en la base del conducto secundario se obtiene sumando los siguientes factores: la caída de presión por resistencia al movimiento más el tiro térmico.

A.5.2.3 Cálculo de la depresión disponible en el conducto secundario. Para calcular la depresión disponible en el conducto secundario deben realizarse los siguientes cálculos:

- 1) Se determinan las características geométricas del conjunto (longitud).
- 2) Se determina el aislamiento térmico y la rugosidad del material interior.
- 3) Se asumirá, en primera aproximación, una velocidad media de los gases en función del caudal másico de acuerdo a la relación siguiente:

$$v = 7,1 + 2,03 x + 0,25 x^2 - 0,526 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,109 \cdot 10^{-3} x^4 \quad (\text{A.28})$$

Donde se tendrá en cuenta que $x = l_n (\dot{m}_u)$.

- 4) Se asumirá, en primera aproximación, una temperatura media de los gases igual a la temperatura de salida del conducto de unión.
- 5) Se calcula la densidad media de los humos mediante la ecuación (A.8).
- 6) Se calcula el caudal volumétrico unitario (v_u) según la ecuación (A.6).
- 7) Se calcula el área de la sección transversal del secundario A_s ($A_s = v_u / v$).
- 8) Se determina el diámetro hidráulico del conducto secundario.
- 9) Se calcula el coeficiente global de transmisión de calor (U) según la fórmula (A.13), asumiendo, en primera aproximación, una temperatura media de los humos igual a la temperatura de salida del conducto de unión.
- 10) Se calcula el área de la superficie interior del conducto secundario (S_i), siendo $S_i = p \cdot L$, y donde p es el perímetro.

- 11) Se calcula el factor de enfriamiento según la ecuación (A.12), donde $C_p = C_{pu}$ y $\dot{m} = \dot{m}_u$.
- 12) Se calcula la temperatura media de los humos mediante la ecuación (A.11), donde T_{he} es la temperatura de salida del conducto de unión.
- 13) Se recalcula desde el punto 4) para obtener con mayor aproximación la temperatura media de los humos.
- 14) Se calcula la temperatura de los humos a la salida del secundario, mediante la ecuación (A.10).
- 15) Se calcula la caída de presión al movimiento de los humos en el secundario.

La caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en las chimeneas, expresada en Pa (N/m^2), se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \left[\sum \left[\rho_{hm} \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot \left(f \cdot \frac{L}{D_{hi}} + \sum \xi \right) \right] + \Delta p_d \right] \cdot f_s \quad (A.29)$$

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 juego tienen el siguiente significado:

ρ_{hm} es la densidad media de los humos (kg/m^3) en el tramo considerado, que se calculará con la ecuación (A.8);

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

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

siendo S el área interior de la sección transversal de la chimenea (m^2)

f es el factor de fricción, que podrá obtenerse, de forma exacta, de la ecuación de Colebrook o, también, con suficiente precisión, mediante ecuaciones aproximadas de solución directa en función de la rugosidad de la superficie interior r (mm), del diámetro hidráulico D_{hi} (m) y del número de Reynolds Re (adimensional). Una expresión muy simple, válida para rugosidades (ficticias) 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 capítulo D.7 se indican las rugosidades medias (ficticias) de algunos materiales empleados en la fabricación o construcción de chimeneas.

L es la 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 el anexo D);

Δp_d es la variación de presión dinámica desde la entrada a la salida de la chimenea, que se calcula 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 estanquidad);
- efectos de condiciones atmosféricas adversas;
- anomalías 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 las 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: $f_s = 1,5$

- 16) Se calcula el tiro térmico del secundario, mediante la ecuación (A.27).
- 17) La depresión disponible en la base del secundario es la diferencia entre la caída de presión y el tiro térmico. El valor de la depresión disponible en la base del secundario debe ser superior a la requerida al final del conducto de unión;

A.5.3 Cálculo de la existencia de tiro en el punto de referencia del conducto principal

A.5.3.1 Generalidades. Se deben realizar los siguientes cálculos generales:

- 1) La temperatura de entrada en el conducto principal es la de salida del conducto secundario, según el punto 1) del apartado A.5.1.3,
- 2) El caudal másico de los humos, \dot{m}_t , se calcula con la ecuación (A.5).

A.5.3.2 Cálculo de la depresión disponible en el conducto principal. Para calcular la depresión disponible en el conducto principal deben realizarse los siguientes cálculos:

- 1) Se determinan las características geométricas del conjunto (longitud),
- 2) Se determina el aislamiento térmico y la rugosidad del material interior,
- 3) Se asumirá, en primera aproximación, una velocidad media de los gases en función del caudal másico de acuerdo a la relación siguiente:

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

Donde se tendrá en cuenta que $x = l_n (\dot{m}_t)$.

- 4) Se asumirá, en primera aproximación, una temperatura media de los gases igual a la temperatura de salida del conducto secundario.

- 5) En base a la altitud sobre el nivel del mar (A) y la constante de elasticidad de los gases (R), se calcula la densidad (ρ_{hm}) mediante la ecuación (A.8), donde T_{hm} es igual a la temperatura de salida del secundario en primera aproximación.
- 6) Se calcula el caudal volumétrico total (v_t) según la ecuación (A.7).
- 7) Se calcula el área de la sección transversal del conducto principal, mediante la expresión $A_s = v_u / v$.
- 8) Se determina el diámetro hidráulico de la chimenea.
- 9) Se calcula el calor específico a presión constante de los productos de la combustión según la ecuación (A.24).
- 10) Se calcula el coeficiente global de transmisión de calor (U) según la fórmula (A.13), asumiendo en primera aproximación una temperatura media de los humos igual a la temperatura de salida del conducto secundario.
- 11) Se calcula el área de la superficie interior del conducto principal (S_i), siendo $S_i = p \cdot L$ y donde p es el perímetro.
- 12) Se calcula el factor de enfriamiento según la ecuación (A.12), donde $C_p = C_{ptm} = \dot{m}_t$.
- 13) Se calcula la temperatura media de los humos mediante la ecuación (A.11), donde T_{he} es la temperatura de salida del secundario.
- 14) Se recalcula desde el punto 5) para obtener con mayor aproximación la temperatura media de los humos.
- 15) Se calcula la temperatura de los humos a la salida del principal, mediante la ecuación (A.10), donde T_{he} es la temperatura de salida del conducto secundario.
- 16) Se calcula la caída de presión al movimiento de los humos en el conducto principal, según lo indicado en el punto 14) del capítulo A.5.2.2 de este anexo, teniendo en cuenta que $\dot{m} = \dot{m}_t$.
- 17) Se calcula la densidad del aire exterior según la ecuación:

$$\rho_a = \frac{101\,325 (1 - 0,00012A)}{R T_a} \quad (A.30)$$

- 18) Se calcula el tiro térmico en el punto de referencia del conducto principal, mediante la ecuación (A.27).
- 19) La depresión disponible en el punto de referencia de cálculo del conducto principal es la diferencia entre la caída de presión y el tiro térmico. Esta tiene que ser menor que cero y si no se cumple esta condición, se recalcula con un diámetro de chimenea superior.
- 20) Además, si se quisiera recalcular con otro diámetro diferente del que resulte de la aplicación estricta de esta norma, la diferencia entre el valor absoluto de la depresión disponible inicialmente calculada y el valor absoluto de la depresión disponible resultante con el recálculo no podrá ser mayor de 2 Pa:

$$\left| \Delta P_{\text{disp calculada}} \right| - \left| \Delta P_{\text{disp recálculo}} \right| \leq 2 \text{ Pa}$$

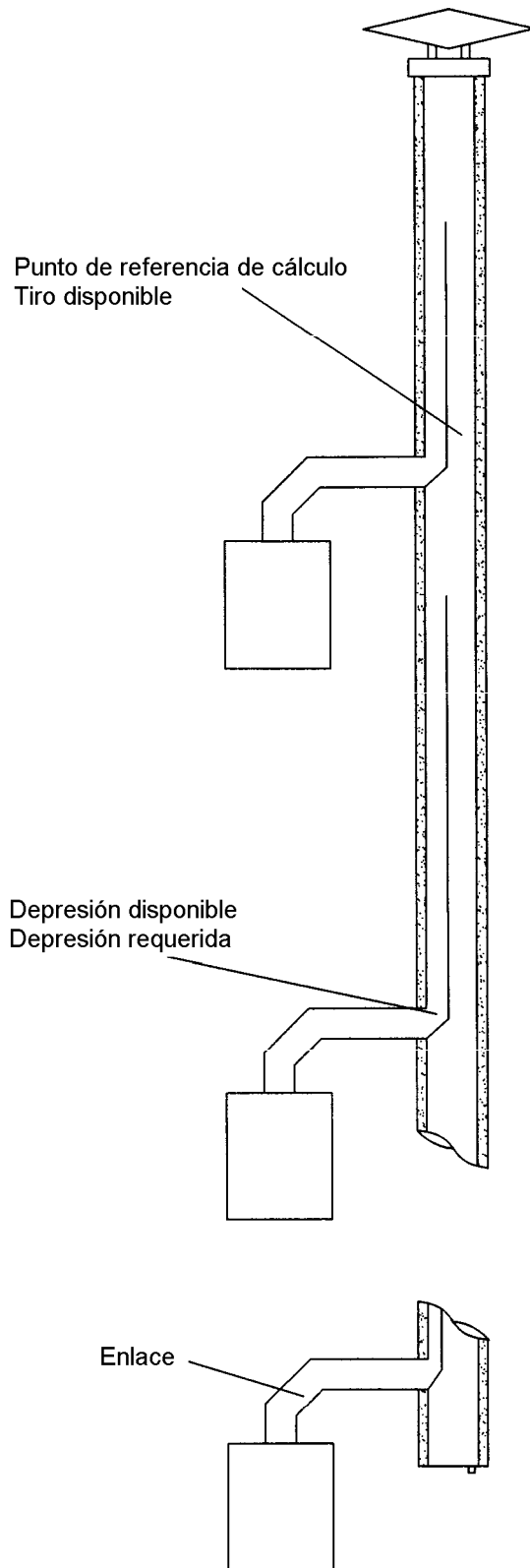


Fig. A.1

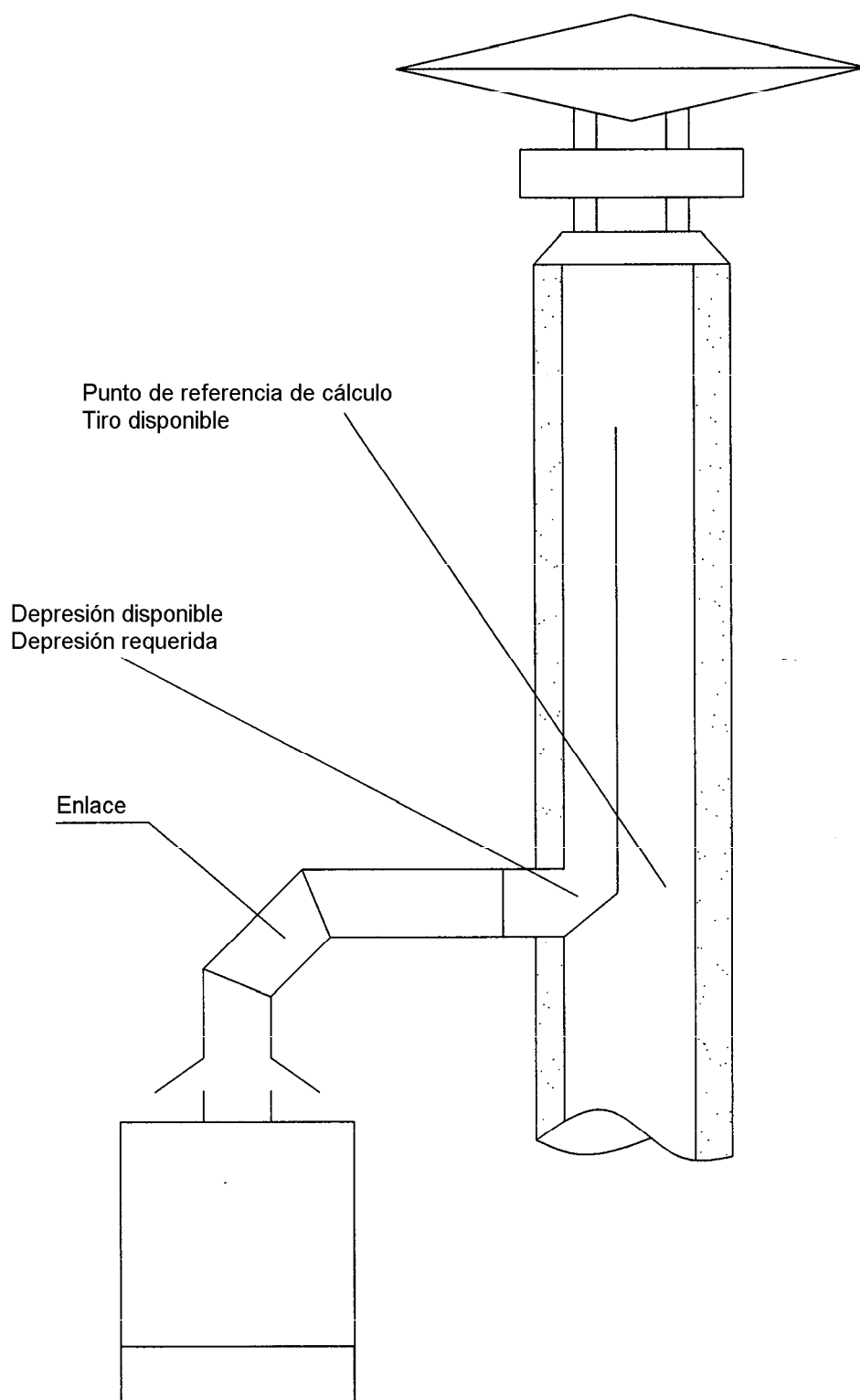


Fig. A.2

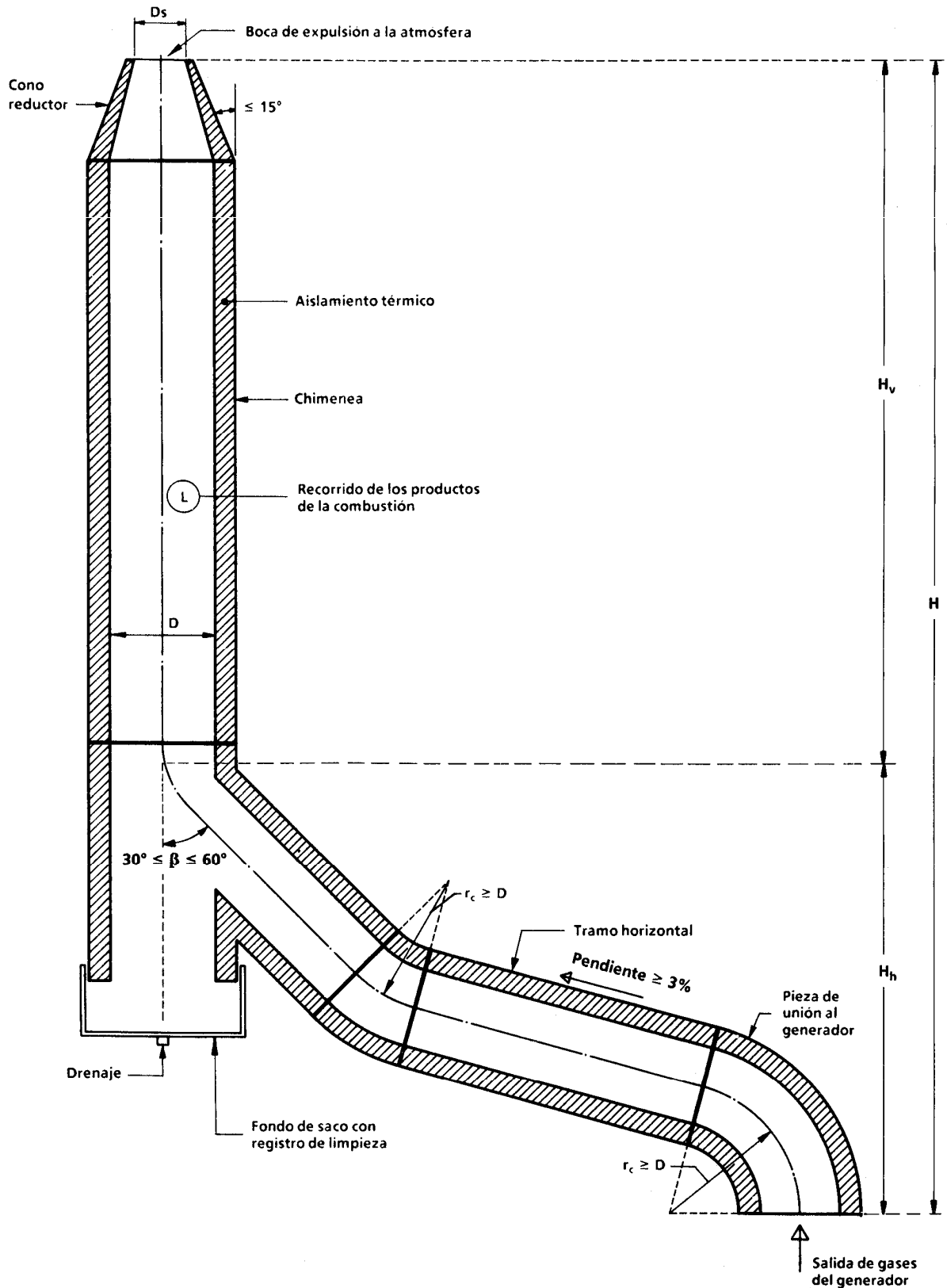


Fig. A.3

ANEXO B (Informativo)

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

B.1 Combustibles gaseosos

	PCS	PCI	CO ₂ máx.	ρ	PC	PF
	kJ/Nm³	kJ/Nm³	%	kg/Nm³	Nm³/Nm³	Nm³/Nm³
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	25,5
Butano comercial	119 700	110 350	14,1	2,41	31,1	32,7

NOTA 1 – Los datos de gas natural y gas manufacturado son aproximados.

NOTA 2 – La constante de elasticidad de los humos vale 300 J/(kg · K).

B.2 Combustibles líquidos

	PCS	PCI	CO ₂ máx.	ρ	PC	PF
	kJ/kg	kJ/kg	%	kg/m³	Nm³/kg	Nm³/kg
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).

B.3 Combustibles sólidos

Las características de los combustibles sólidos varían notablemente con su composición química.

El CO₂ máx. está comprendido entre el 18% y el 21%.

El PC y el PF podrán calcularse con las siguientes fórmulas:

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 C (Informativo)

DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE CALOR

C.1 Rendimiento (%)

Potencia térmica nominal kW	Gasóleo	Gas natural	Propano comercial	Carbón Alimentación	
				manual	automática
10	79	79	77	70	73
100	82	82	80	74	78
1 000	85	85	84	79	82

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

Potencia térmica nominal kW	Gasóleo	Gas natural	Propano comercial	Carbón Alimentación	
				manual	automática
10	10,1	8,6	8	8	8,5
	1,54	1,41	1,74	2,58	2,42
100	11,4	9,5	8,2	9	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

C.3 Coeficiente corrector c_c del exceso de aire

Tipo de combustible	c _c
Gaseoso	0,91
Líquido	0,94
Sólido	0,98

C.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

C.5 Depresión en hogares de generadores de calor

1 Combustibles gaseosos y líquidos:

Potencia nominal kW	Depresión Pa
$P \leq 120$	$1,5 \cdot \log(P) - 1,2$
$120 < P \leq 1\ 200$	$39,2 \cdot \log(P) - 51,4$
$1\ 200 < P$	$19,4 \cdot \log(P) + 4,9$

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

C.6 Calor específico de los humos a presión constante

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.

2 Combustibles líquidos

CO ₂ %	Cp J/(kg · K)
10	$1\ 036 + 0,0906 \cdot T_{hm} + 1,1666 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
8	$1\ 027 + 0,0639 \cdot T_{hm} + 1,1664 \cdot 10^{-4} \cdot T_{hm}^2$
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.

3 Combustibles 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.

C.7 Temperatura de rocío del vapor de agua

Combustible	Contenido de CO₂ % 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

C.8 Temperatura de rocío ácido

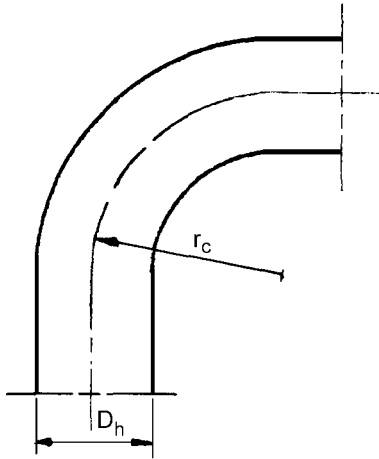
Combustible gasóleo y 1% de conversión de SO₂ a SO₃.

Contenido de CO₂ % en volumen	Contenido de S % en peso	
	0,5	1
10	120	124
12	123	127
14	126	130

ANEXO D (Informativo)

COEFICIENTES ξ DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS

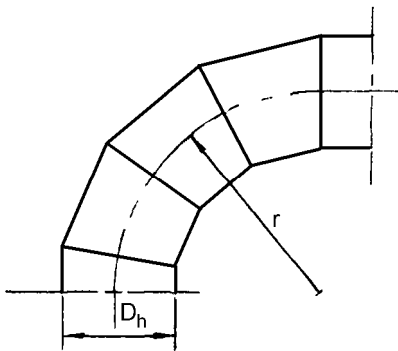
D.1 Curvas continuas a 90°



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

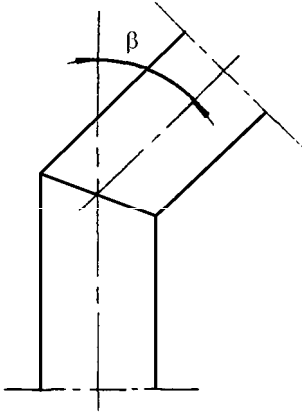
para ángulos a menores de 90° hasta 30°, multiplicar el coeficiente de la tabla por el factor $0,8 \cdot a/90$.

D.2 Curvas de gajos a 90° de sección circular



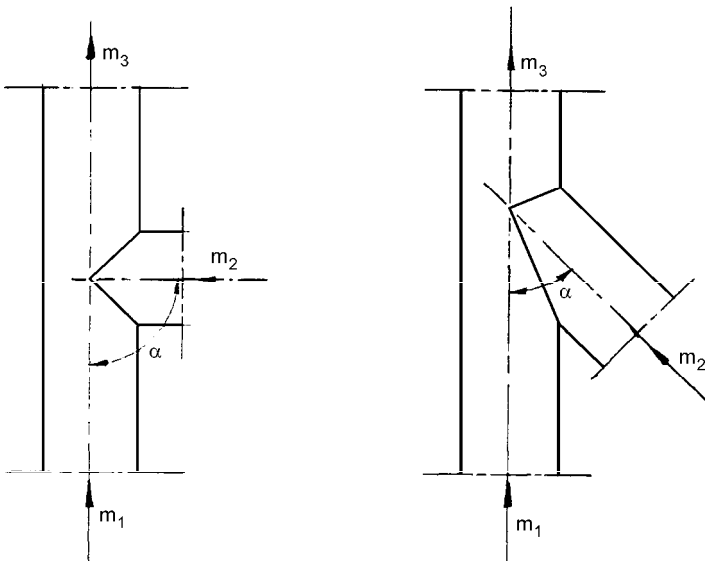
2 gajos	$1,25 D_h \leq r \leq 4 D_h$	$\xi = 0,6$
3 ó 4 gajos	$2 D_h \leq r \leq 8 D_h$	$\xi = 0,4$

D.3 Cambios de dirección (sección circular o rectangular)



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

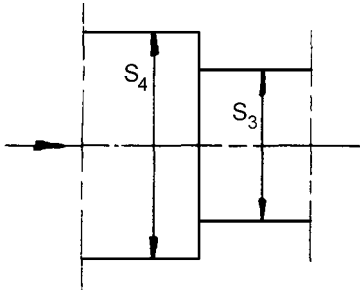
D.4 Ramales (Tees) con flujo convergente (diámetro iguales)



m_2/m_3	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
	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

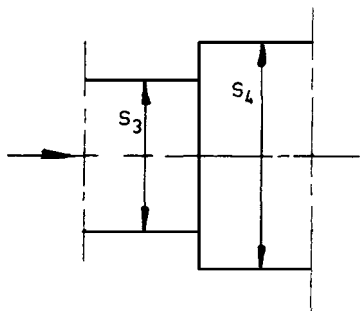
D.5 Variaciones de sección

Reducción brusca



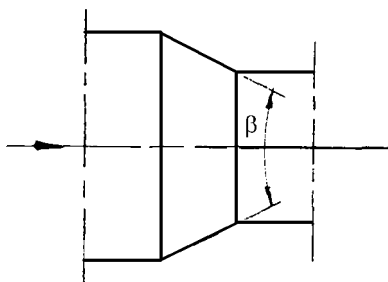
rel. de superf. s_3/s_4	0,4	0,6	0,8
coeficiente ξ	0,33	0,25	0,15

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

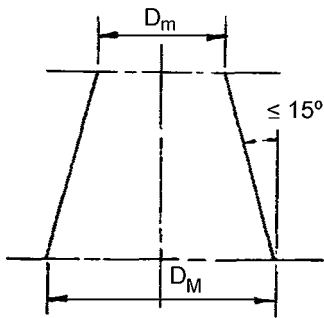
Reducción



ángulo β (grados)	30	45	60
coeficiente ξ	0,02	0,04	0,07

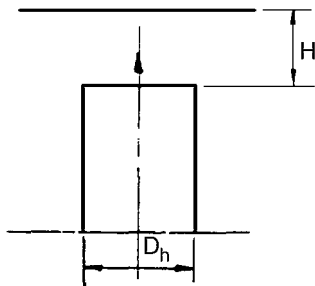
D.6 Terminaciones

Cono reductor de ángulo de convergencia ≤ 15°:



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

Plato superior (distancia medida en diámetros hidráulicos)



relación H/D _h	0,5	1
coeficiente ξ	1,5	1

D.7 Rugosidades medias ficticias de materiales empleados en la fabricación o construcción de chimeneas (dependen de la calidad del acabado)

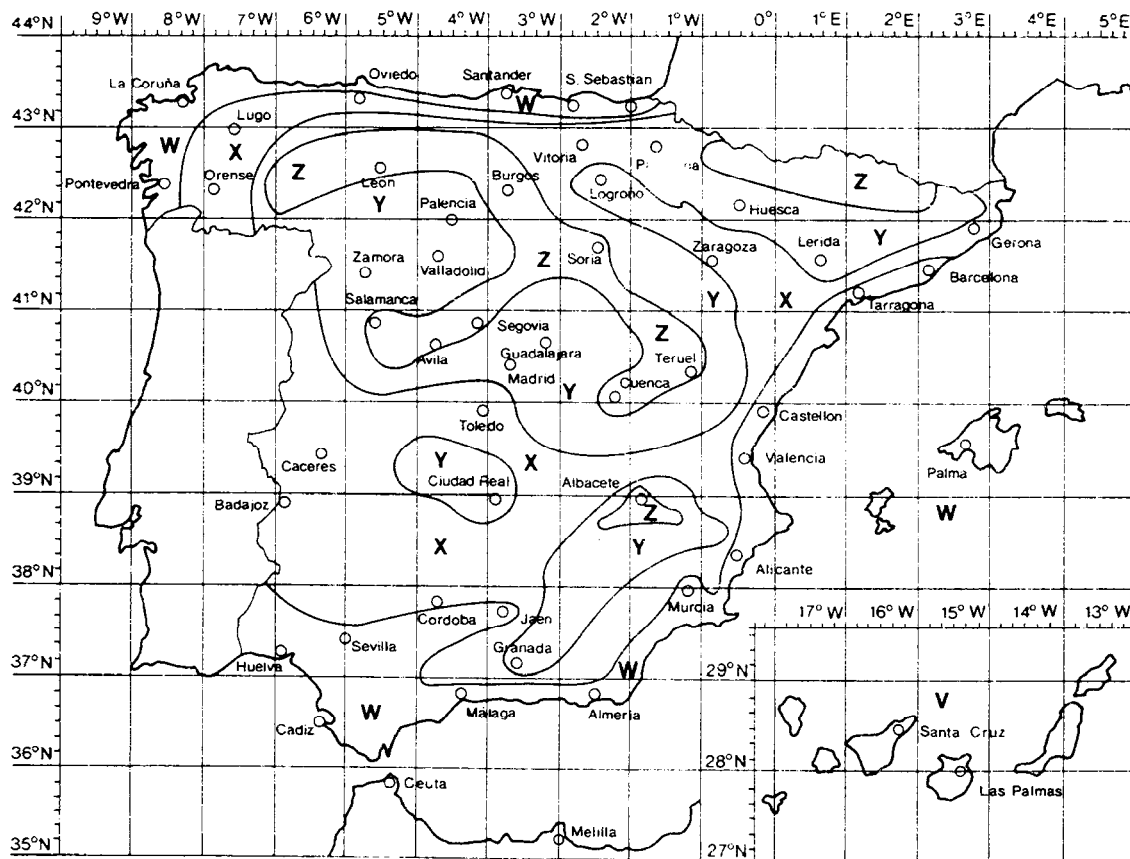
Material	Rugosidad mm
Acero sin revestir y acero inoxidable:	
– sección circular	0,5 a 1
– sección rectangular	1 a 2
Hormigón o revoco en cemento	1,5 a 3
Muros de ladrillo	3 a 5

ANEXO E (Informativo)

TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR

Como temperatura exterior de proyecto 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, de acuerdo a cuanto se especifica en la reglamentación vigente en esta materia.

Zona climática	Régimen de funcionamiento	
	Sólo invierno °C	Todo el año °C
V	15	20
W	10	15
X	7	12
Y	5	10
Z	3	8



Mapa de Zonificación por temperaturas mínimas medias de enero

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A JEREMIAS