

**CÁLCULO DE CHIMENEAS COLECTIVAS SEGÚN NORMA UNE 123001:2005.
ANÁLISIS, ESTUDIO Y COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO
PROPUESTO CON LA TECNOLOGÍA DE LA FLUIDODINÁMICA
COMPUTACIONAL (CFD)**

Dr. Iñaki Loroño Lucena. Profesor Titular de la Universidad del País Vasco.

Ricardo García San José. Ingeniero Industrial; FACTOR 4.

Dr. Leopoldo Martín Gómez. Profesor Titular de la Universidad del País Vasco.

Dr. Jesús María Blanco Ilzarbe. Profesor Titular de la Universidad del País Vasco.

Aingeru Basterretxea Bitorika. Profesor Colaborador a tiempo completo de la Universidad del País Vasco.

Cristina Santín Rodríguez. Ingeniero Industrial. Colaboradora de la Universidad del País Vasco.

1.- INTRODUCCIÓN

Las Normas UNE 123002:1995 “Chimeneas. Chimeneas modulares metálicas” y UNE 123001:1994 “Chimeneas. Cálculo y diseño”, han sido anuladas como consecuencia de la publicación en el Estado español de las Normas Europeas armonizadas UNE-EN 1856-1:2004 y UNE-EN 1856-2:2005, así como de las Normas de cálculo UNE-EN 13384-1:2003 y UNE-EN 13384-2:2005.

En mayo de 2003 se puso en conocimiento de AENOR, que se habían detectado una serie de problemas en el anexo normativo F de la Norma UNE 123001:1994/1m:2002, sin embargo no se recibió ninguna contestación por parte de AERNOR ni por parte de AFECH.

Con la anulación de todas las Normas nacionales técnicamente divergentes con las mencionadas Europeas a finales de noviembre de 2003 se dio por concluida la problemática. Sin embargo en julio de 2005 se publicó la Norma UNE 123001:2005 y en abril de 2006 su 1ª modificación. En esta Norma se reedita el procedimiento de cálculo definido en el extinto anexo normativo F de la Norma UNE 123001:1994/1m:2002, correspondiente al cálculo de chimeneas colectivas con conducto secundario que dan servicio a más de un generador atmosférico.

La presente ponencia intentará de una forma resumida analizar el procedimiento de cálculo propuesto por la Norma UNE 123001:2005 y comparar sus resultados con los obtenidos, en los diferentes casos y consiguientes modelos, llevados a cabo mediante la utilización de la tecnología de la fluidodinámica computacional (CFD) y extraer las correspondientes conclusiones.

2.- COMENTARIOS A LA NORMA UNE 123001:2005 RESPECTO A LA NORMATIVA EUROPEA

A continuación se expondrán una serie de apartados de la Norma acompañados de sus correspondientes comentarios, aclaraciones o críticas de los mismos.

Debido a la complejidad de interpretación en unos casos y a la diversidad en todos ellos se enumerarán de forma individual.

1.- Tiene como ámbito de aplicación el cálculo, diseño y aplicación de las “**chimeneas colectivas** con conducto secundario que dan servicio a más de un **generador atmosférico**” para la evacuación de los PDC de combustibles *sólidos, líquidos y gaseosos*.

El RITE en su ITE 09.3 requiere solo conductos secundarios en la evacuación colectiva de PDC de generadores que utilicen combustibles diferentes de los gaseosos (Figura 1). La última revisión del RITE es anterior al año 2003 en el que entró en vigor la Norma UNE-EN 13384-2:2005 de obligado cumplimiento, que por otra parte está diseñada para la evacuación de los PDC de combustibles *sólidos, líquidos y gaseosos*.

2.- La ITE 04.5 hace referencia a las normas CEN en relación a los materiales a emplear en las chimeneas prefabricadas (metálicos, cerámicos y plásticos, rígidos y flexibles).

La Norma UNE 123001:2005 no menciona otro tipo de chimenea, atendiendo a la naturaleza de sus materiales, que el de las chimeneas metálicas, olvidándose de las cerámicas y plásticas.

En su apartado 4.3.2 sobre la resistencia de la corrosión de la pared interior de las chimeneas establece el cumplimiento de una tabla de calidades mínimas de materiales. En esta tabla solo aparecen aceros, no citando los diferentes tipos de aluminios y aceros recubiertos de aluminio que se contemplan en la tabla 2 de la Norma UNE-EN 1856-2-2004 en vigor.

3.- En el apartado 1 se ha descrito el ámbito de aplicación de la Norma UNE 123001:2005, sin embargo en el apartado 5.1 se especifica que “la evacuación de los PDC ha de ser siempre a cubierta”, contraviniendo al RITE y RIGLO en vigor e introduciendo una obligatoriedad no reglamentada.

4.- El apartado 5.3 dispone que en patillos de obra o galería técnica de instalaciones la temperatura exterior de la chimenea en “condiciones de funcionamiento a potencia máxima nominal y a temperatura ambiente, la temperatura de la pared de los locales colindantes no es superior en 5°C a la temperatura ambiente del proyecto del local, y en cualquier caso no superior a 28°C. Esto entra en contradicción con la Norma europea UNE-EN 1856-1:2004, en su apartado 6.4.1 y 6.4.2 en los que se indica un límite de 85° C en los materiales combustibles adyacentes a la chimenea y de 70°C cuando exista la posibilidad de contacto humano accidental.

5.- En el apartado 6.2.2 se describe como debe ser el trazado del conducto de unión. Este trazado no corresponde con el establecido en el anexo A de la Norma UNE-EN 1856-2:2004.

6.- En el apartado 6.2.3 se cita que en las “instalaciones que den servicio a **calderas estancas**, las chimeneas deberán estar provistas en su base inferior de un dispositivo cortatiros”.

La Norma se refiere a calderas atmosféricas y no a estancas.

7.- En el apartado 6.2.3 también, se establece el diámetro hidráulico del conducto secundario (120 mm) el cual debiera de establecerse en función del “diámetro hidráulico de la salida de humos del aparato de calefacción” como lo indica la Norma UNE-EN 13384-2:2005 en su anexo A.

8.- El apartado 6.2.4 determina un número máximo de 10 calderas conectadas a la misma vertical de chimeneas equilibradas (estancas) y de 7 calderas con chimeneas con conducto secundario.

Hay una contradicción con la Norma UNE-EN 13384-2/2005, que no establece límite alguno para las chimeneas equilibradas y un máximo de 5 para las no equilibradas, entre las que se encuentran las dotadas de conducto secundario.

9.- En lo referente a la puesta en marcha (apartado 10 de la Norma) parece que no es posible cumplir varias de sus estipulaciones:

- a) El dimensionamiento de la chimenea debe ser comprobado que cumpla alguna de las siguientes Normas; UNE-EN 13384-1 (¡no sirve para calcular chimeneas colectivas!), UNE-EN 13384-2 y UNE 123001/2005. La primera no calcula chimeneas colectivas y la segunda y tercera son Normas de cálculo de chimeneas colectivas distintas. Los datos de partida son diferentes, no pueden obtener los mismos tipos de datos y sus procedimientos de cálculo son distintos.

- b) Se pide comprobar que existe el tiro necesario en cada generador, pero no es posible ya que no se ha calculado, por lo que solo se puede disponer del facilitado por el fabricante de la caldera.
- c) Que la temperatura de la pared exterior no supera un valor determinado. La Norma no dispone de medios para determinar la temperatura de pared.
- d) Para la puesta en marcha se deben hacer todas las mediciones en el “¡caso de instalaciones de chimeneas colectivas!” para diferentes combinaciones de potencia y simultaneidad en clara alusión a lo establecido por la UNE-EN 13384-2:2005. Sin embargo como se ha explicado en los subapartados a y b no es posible disponer de esos datos debido a que no se calculan, lo que no ocurre en el caso de la europea.

10.- Las características de los combustibles empleados así como los datos de funcionamiento de los generadores de calor son diferentes de los utilizados por las Normas europeas.

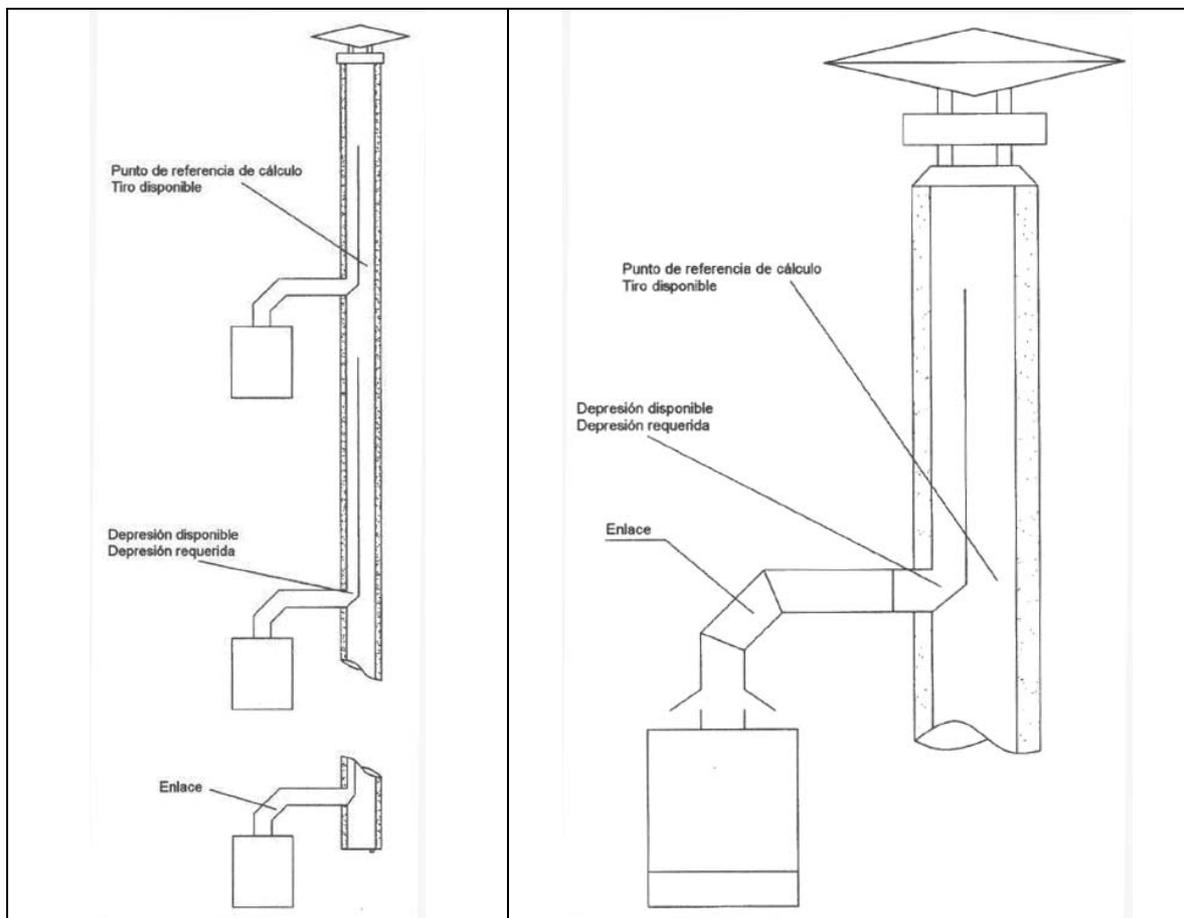


FIGURA 1.- Detalles constructivos (Extraído de la Norma UNE 123001:2005)

3.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

3.1.- Consideraciones Previas

En la figura 2 se representa el diagrama de flujo del método de cálculo.

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:

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

A continuación se procederá a exponer las hipótesis de partida, los modelos físicos y el postproceso, junto con el análisis de los resultados obtenidos en los procesos de validación de los métodos de cálculo propuestos, según la Norma UNE 123001:2005 y UNE 123001:2005 1M:2006.

Se justificarán las simplificaciones realizadas para la adecuación de los modelos de CFD a los modelos resueltos por los métodos numéricos de cálculo de ambas Normas.

1.- El combustible empleado para los cálculos es gas natural cuyas características son las de la tabla 1

	PCS kJ/Nm ³	PCI kJ/Nm ³	CO ₂ max %	ρ kg/Nm ³	PC Nm ³ /Nm ³	PF Nm ³ /Nm ³
Gas natural	44000	39600	12.1	0.75	11.2	11.9

TABLA 1

2.- Los productos de la combustión del gas natural (humos) que circulan por el interior de la chimenea se consideran como un único gas cuyas características de calor específico, densidad, conductividad térmica y viscosidad cinemática son determinadas por la propia Norma.

3.- La potencia nominal de las calderas será de 23.5 kW.

4.- Se tomará como rendimiento útil de la caldera, el facilitado por el fabricante (91.2%).

5.- El porcentaje en volumen de CO₂ en los humos a utilizar será el facilitado por el fabricante (6.3%).

6.- La temperatura de entrada de los humos en los enlaces (Tec) será calculada en función de la declarada por el fabricante (144.2 °C) o la calculada según Norma (Tsg).

7.- Las calderas se encuentran en el interior de la vivienda.

8.- La chimenea está ubicada en el exterior del edificio.

9.- No se contempla la influencia del viento sobre el funcionamiento de la chimenea.

10.- El régimen de funcionamiento es estacionario.

11.- La diferencia de presión disponible a la salida de cada generador será 0.

12.- No se contempla pérdida de carga debida al paso de los fluidos (aire, humos) por la caldera ni por la entrada de aire a través de la rejilla de la habitación.

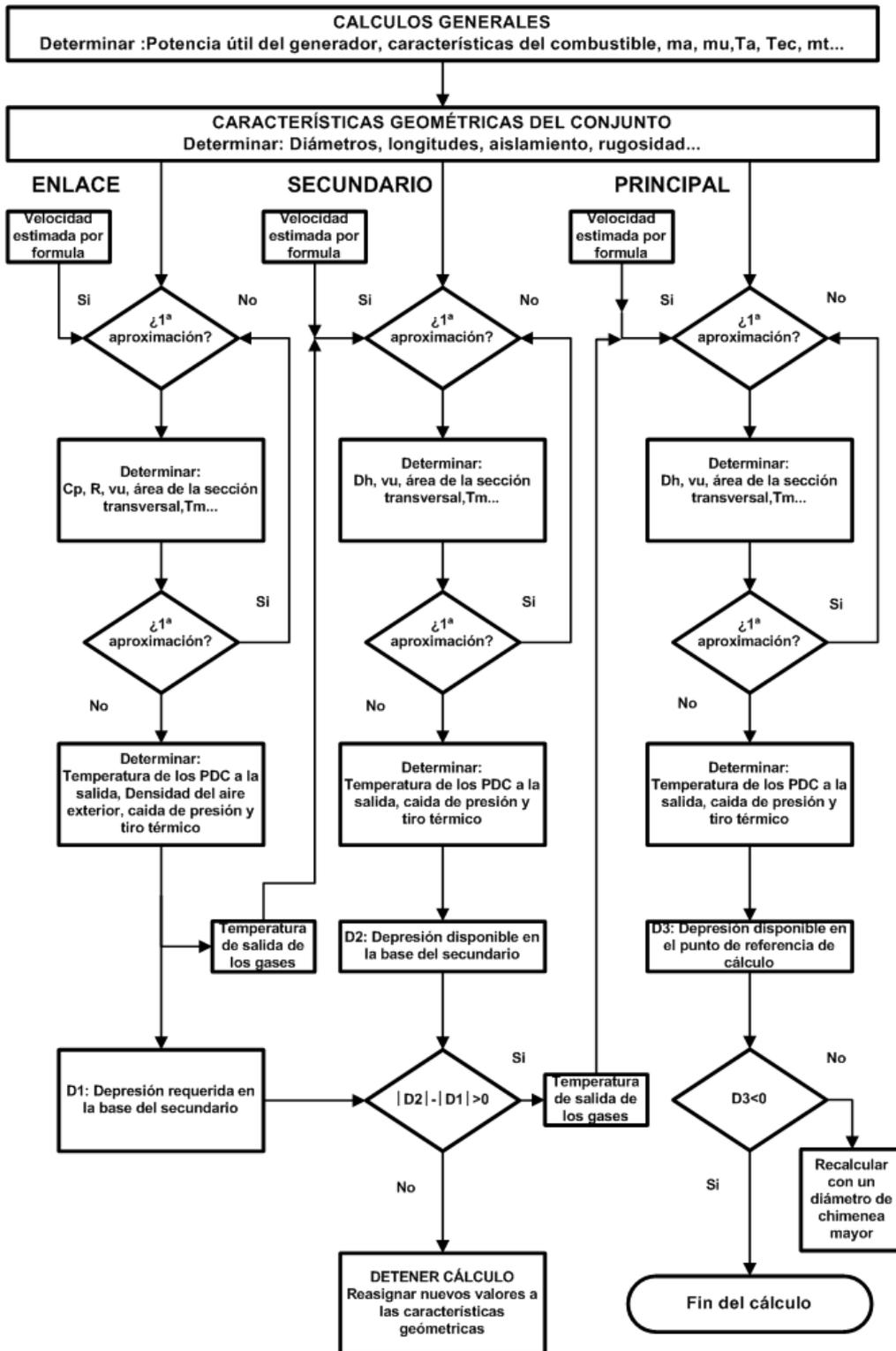


FIGURA 2.- Diagrama de flujo del método de cálculo de la Norma UNE 123001:2005.

13.- La densidad del aire exterior será la determinada por la Norma para la temperatura exterior de 15 °C (1.225 kg/m³).

14.- Los datos de proyecto serán los siguientes:

- a) La altitud sobre el nivel del mar se considera 0.
- b) Temperatura ambiente seca en el exterior, $T_a = 15$ °C.
- c) Temperatura de local calefactado, $T_{calf} = 20$ °C.
- d) Temperatura de local no calefactado, $T_{ncalf} = 15$ °C.
- e) Distancia entre plantas, $pl = 3$ m.
- f) Número de generadores y distancia del punto de referencia de cálculo a remate de chimenea (según cada caso). Consisten en seis casos que se subdividen en un total de 15 modelos diferentes.

15.- Los enlaces son metálicos (aluminio).

16.- Las chimeneas son metálicas (acero inoxidable AISI 304).

17.- Se consideran conducciones prefabricadas tanto el enlace, el secundario como el principal, ya que se trata de modelos diseñados por un prestigioso fabricante.

18.- Los cálculos según Norma se realizan con las secciones correspondientes a los modelos 3D.

19.- El flujo por el interior de los conductos es turbulento.

20.- Los coeficientes de convección correspondientes al exterior de las paredes serán los proporcionados por la Norma.

21.- La rugosidad se considerará en todos los conductos del mismo tipo, igual y de valor constante y será la declarada por el fabricante.

3.2.- Casos Estudiados

A continuación se procederá a analizar los resultados obtenidos en los diferentes casos estudiados, así como de sus variantes, algunas de las cuales no pueden ser ensayadas por el método de cálculo de la Norma.

Se presentan las tablas con los resultados de la masa entrante por los enlaces, presión estática en las entradas, energía entrante en el dominio, pérdida de calor por paredes y depresión en el punto de referencia de cálculo así como diversas figuras que muestran líneas de corriente coloreadas por diferentes variables de presión, velocidad y temperatura de los modelos de los casos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

3.2.1.- Caso 1

5 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 0.4 m y 0.2 m respectivamente, 250 mm.de diámetro y 3.5metros de distancia al punto de referencia desde la descarga. Se compone de 5 modelos diferentes (Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7) (Figuras 3, 4 y 5):

- a) Modelo 1: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la norma.

Las masas entrantes por los enlaces en algunos casos son muy superiores a la estimada por la Norma (0.025 kg/s).

El cálculo según Norma indica la existencia de depresión en el punto de referencia, al igual que la que la solución con CFD, aunque el valor de esta última sea 8 veces superior.



FIGURA 3.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 1). Descarga a la altura de la 2ª planta.

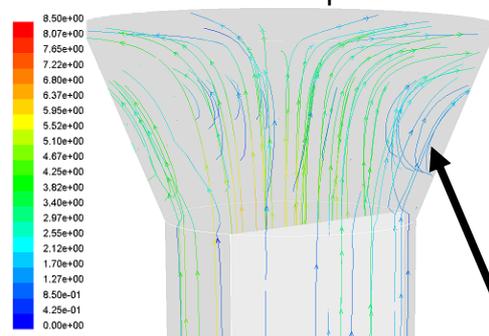


FIGURA 4.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 1). Descarga a la salida de la chimenea, en la que se aprecia zonas de recirculación.

- b) Modelo 2: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante.

La disminución de la temperatura de entrada de los gases hace que todos los parámetros analizados sean de valor menor a los del modelo 1.

El cálculo según Norma indica que no hay depresión en el punto de referencia, sin embargo la resolución mediante CFD, indica lo contrario.

Ningún caudal másico calculado por el método CFD es inferior al determinado por la Norma.

- c) Modelo 3: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante y una pérdida de carga constante en las entradas de los enlaces de 4.5 Pa. Estas pérdidas de carga simulan las producidas en las calderas (1.5 Pa) y en las rejillas de ventilación del local que contiene a la caldera (3 Pa). No resuelto por método el método de cálculo según Norma.

El hecho de que se imponga una pérdida de carga a la entrada hace disminuir de forma importante la masa circulante por los enlaces, de manera que los pisos 3º, 4º y 5º no alcanzan el valor estipulado por la Norma. Sin embargo el 5º piso es el único que no alcanza el valor declarado por el fabricante.

La presión estática en el punto de referencia es menor que la del modelo 1.

- d) Modelo 4: Es el modelo 2 con la particularidad de que se le han quitado los secundarios. No resuelto por método el método de cálculo según Norma. La desaparición de los secundarios conlleva un aumento de todos los parámetros a excepción de la presión estática en la última planta. Es destacable que la masa total circulante es superior a la del modelo 1 a pesar de tener una temperatura de entrada inferior.

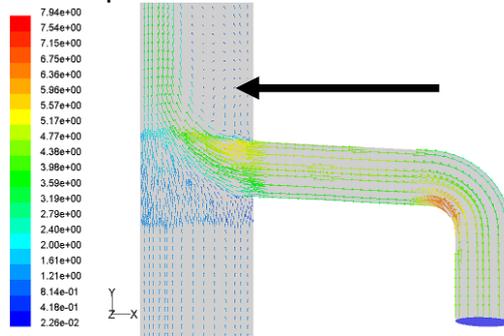


FIGURA 5.- Vectores de velocidad (modelo 4). Descarga a la altura de la 2ª planta. Se aprecia recirculación de humos y una alineación lateral de la densidad de flujo.

- e) Modelo 5: Es igual al modelo 4 con una pérdida de carga en las entradas de los enlaces de 4.5 Pa. No resuelto por método el método de cálculo según Norma. Los valores obtenidos son mayores que los del modelo 3 (con secundario) a excepción de la masa entrante y la depresión de la quinta caldera que empeoran. Los flujos máxicos de la 4º y 5º caldera no cumplen el valor mínimo estipulado por la Norma. Por otro lado la caldera del 4º piso si cumple el flujo declarado por el fabricante.

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)					
Pisos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Piso 1º	0.054177791	0.047335099	0.032691326	0.060432199	0.036169779
Piso 2º	0.042719252	0.037149251	0.027686445	0.05079896	0.031626027
Piso 3º	0.035416372	0.030604327	0.02349709	0.039915726	0.026737401
Piso 4º	0.030645981	0.026263362	0.01968353	0.029616263	0.021343127
Piso 5º	0.029369311	0.025122253	0.01638900	0.019776212	0.014855652
Total	0.19232871	0.16647429	0.11994740	0.20053936	0.13073199

TABLA 2

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGUN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)	
Modelo 1	Modelo 2
0.025	0.025

TABLA 3

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)					
Pisos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Piso 1º	-12.61435	-8.216309	-21.600937	-13.411591	-26.450504
Piso 2º	-7.828120	-5.049587	-21.600937	-9.4685354	-20.218721
Piso 3º	-5.367341	-3.417621	-11.147807	-5.8357048	-14.446630
Piso 4º	-4.008980	-2.509002	-7.814858	-3.2009912	-9.1996031
Piso 5º	-3.680535	-2.293348	-5.4111834	-1.4131657	-4.4479861

TABLA 4

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)					
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Total	29490.98	14097.535	10157.521	16982.257	11070.788

TABLA 5

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)					
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Total	-6134.179	-3424.937	-3022.4975	-3844.2	-3251.2338

TABLA 6

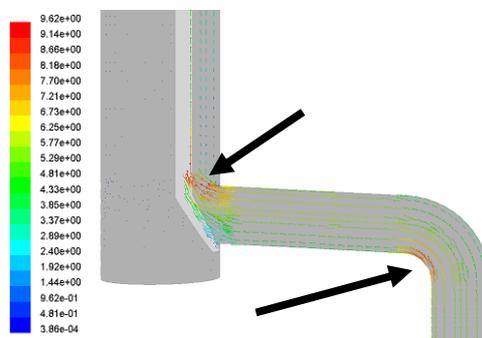
DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)						
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
	(cálculo numérico)	(cálculo numérico)				
Modelo 1	-8.29548	-4.65374	1.409	-5.23310	-4.98794	-5.57590

TABLA 7**3.2.2.- Caso 2**

5 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 0.4 m y 0.2 m respectivamente, 250 mm.de diámetro y 4.5 metros de distancia al punto de referencia desde la descarga (Tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13) (Figuras 6 y 7). Se compone de 2 modelos diferentes:

- a) Modelo 6: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma.

El aumento de un metro de altura del tramo final de chimenea con respecto al del modelo 1 ha elevado ligeramente todos los valores a excepción de la depresión en el punto de referencia, calculada por el método según Norma, que se ha incrementado en más del 100%.

**FIGURA 6.-** Vectores de velocidad (modelo 6). Descarga a la altura de la 1ª planta. Se aprecian zonas de velocidad elevada

- b) Modelo 7: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante.

El comportamiento es similar al del modelo anterior si lo comparamos con el modelo 2.

El resultado del cálculo numérico indica que no existe depresión en el punto de referencia, sin embargo la solución CFD indica que si hay.

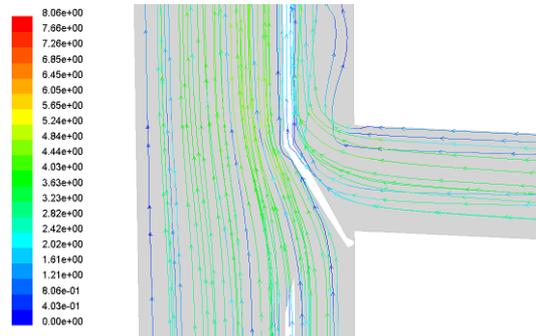


FIGURA 7.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 6). Descarga a la altura de la 4ª planta. Se aprecia una ordenada alineación del flujo en el conducto principal.

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)		
Pisos	Modelo 6	Modelo 7
Piso 1°	0.053172257	0.045440458
Piso 2°	0.042548437	0.036129221
Piso 3°	0.035852093	0.030223757
Piso 4°	0.031804588	0.026639756
Piso 5°	0.031729292	0.026799876
Total	0.19510667	0.165233070

TABLA 8

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGÚN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)	
Modelo 6	Modelo 7
0.025	0.025

TABLA 9

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)		
Pisos	Modelo 6	Modelo 7
Piso 1°	-12.147905	-7.5696397
Piso 2°	-7.7635889	-4.7747579
Piso 3°	-5.5001092	-3.3328178
Piso 4°	-4.3202071	-2.5827036
Piso 5°	-4.2988009	-2.6142254

TABLA 10

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)		
	Modelo 6	Modelo 7
Total	29853.88	13963.409

TABLA 11

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)		
	Modelo 6	Modelo 7
Total	-11403.761	-6116.932

TABLA 12

DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)			
Modelo 6	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 7
	(cálculo numérico)		(cálculo numérico)
-8.9336033	-2.877	-4.7324209	0.449

TABLA 13

3.2.3.- Caso 3

5 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 2 m y 0.2 m respectivamente y 3.5 metros de distancia al punto de referencia desde la descarga (Tablas 14, 15, 16, 17, 18 y 19) (Figuras 8 y 9). Se compone de 2 modelos diferentes:

- a) Modelo 8: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma.

El aumento de la longitud de los enlaces hace que disminuya levemente todos los valores salvo las pérdidas de calor por pared que lógicamente aumentan. El valor de la depresión en el punto de referencia disminuye alrededor de un 40% en el caso de la solución calculada según Norma y de forma muy pequeña en la obtenida por la solución CFD.

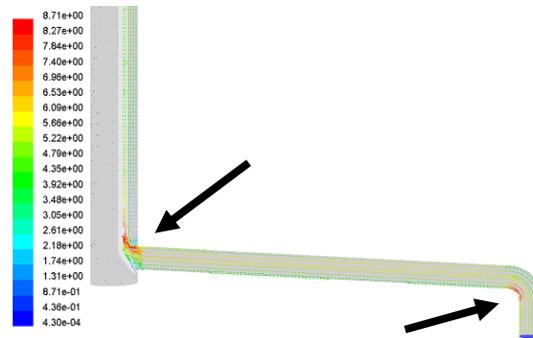


FIGURA 8.- Vectores de velocidad (modelo 8). Descarga a la altura de la 1ª planta. Se aprecian zonas de velocidad elevada

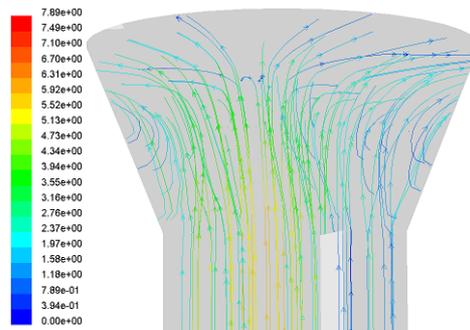


FIGURA 9.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 8). Descarga a la salida, en la que se aprecia zonas de importante recirculación.

- b) Modelo 9: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante.

El comportamiento es similar al del modelo 8. El cálculo según Norma indica al igual de lo que sucede en los modelos 2 y 7 que no hay depresión en el punto de referencia. Por el contrario la solución CFD indica la existencia de ésta.

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)		
Pisos	Modelo 8	Modelo 9
Piso 1°	0.051604729	0.04414181
Piso 2°	0.04123202	0.035070013
Piso 3°	0.034327526	0.028953321
Piso 4°	0.029753584	0.024874205
Piso 5°	0.027862497	0.022859979
Total	0.18478036	0.15589933

TABLA 14

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGUN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)	
Modelo 8	Modelo 9
0.025	0.025

TABLA 15

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)		
Pisos	Modelo 1	Modelo 2
Piso 1°	-11.439655	-7.1414623
Piso 2°	-7.2878747	-4.4971442
Piso 3°	-5.0386024	-3.0561905
Piso 4°	-3.774544	-2.2484941
Piso 5°	-3.3052604	-1.8937134

TABLA 16

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)		
	Modelo 8	Modelo 9
Total	28333.544	13202.02

TABLA 17

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)		
	Modelo 8	Modelo 9
Total	-8329.5104	-4509.5402

TABLA 18

DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)			
	Modelo 8		Modelo 9
	Modelo 8	(cálculo numérico)	Modelo 9 (cálculo numérico)
	-7.8885226	-0.605	-4.2714243
			1.787

TABLA 19

3.2.4.- Caso 4

5 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 2 m y 0.2 m respectivamente, 250 mm.de diámetro y 4.5 metros de distancia al punto de referencia desde la descarga (Tablas 20, 21, 22, 23, 24 y 25) (Figuras 10 y 11). Se compone de 2 modelos diferentes:

- Modelo 10: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma.
El aumento de un metro en el último tramo de chimenea eleva todos los valores, especialmente la depresión en el punto de referencia y la masa entrante de los pisos 4° y 5°.
- Modelo 11: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante.

Lo especificado para el modelo 10 es extensible al presente con la salvedad de que el cálculo según Norma (modelos 2, 7 y 9) sigue indicando falta de depresión en el punto de referencia, en contraposición a lo determinado por la solución CFD.

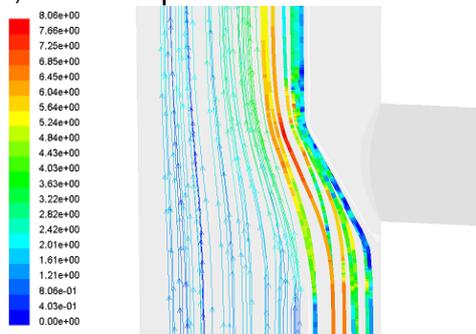


FIGURA 10.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 10). Separación de de los flujos correspondientes a las plantas 1^a (izquierda, línea fina) y 2^a (derecha, línea gruesa)

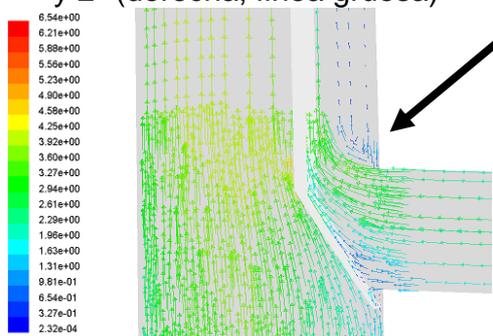


FIGURA 11.- Vectores de velocidad (modelo 11). Descarga a la altura de la 5^a planta. Se aprecia recirculación de humos

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)			
Pisos	Modelo 10		Modelo 11
Piso 1°	0.052694682		0.044821564
Piso 2°	0.042388558		0.035823654
Piso 3°	0.035722222		0.029897626
Piso 4°	0.031564806		0.026159793
Piso 5°	0.030534439		0.0258011
Total	0.19290471		0.16250374

TABLA 20

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGÚN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)		
	Modelo 10	Modelo 11
	0.025	0.025

TABLA 21

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)		
Pisos	Modelo 10	Modelo 11
Piso 1°	-11.930206	-7.3645043
Piso 2°	-7.7052531	-4.6941786
Piso 3°	-5.460279	-3.2609839
Piso 4°	-4.2547321	-2.4900627
Piso 5°	-3.9790192	-2.421809

TABLA 22

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)		
	Modelo 10	Modelo 11
Total	29579.304	13761.298

TABLA 23

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)		
	Modelo 10	Modelo 11
Total	-8752.5386	-4735.6049

TABLA 24

DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)			
	Modelo 10	Modelo 11	Modelo 11
	(cálculo numérico)		(cálculo numérico)
	-10.021509	-2.276	-5.4056787
			0.956

TABLA 25

3.2.5.-Caso 5

7 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 0.4 m y 0.2 m respectivamente, 300 mm.de diámetro y 3.5 metros de distancia al punto de referencia desde la descarga (Tablas 26, 27, 28, 29, 30 y 31) (Figura 12). Se compone de dos modelos diferentes.

- a) Modelo 12: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma.

Los valores de los flujos máxicos entrantes son muy altos.

La depresión en el punto de referencia es, calculada según la Norma, inexistente y por el contrario, la solución CFD indica lo contrario.

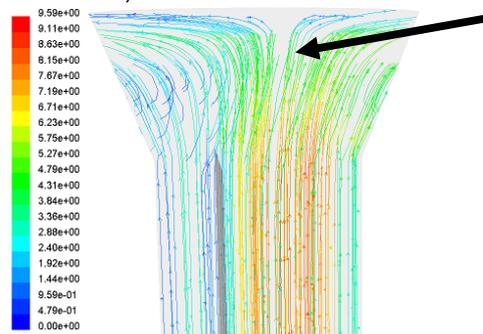


FIGURA 12.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 12). Se aprecia en el conducto principal líneas con valores altos de velocidad en comparación a las que aparecen en el secundario de la 5ª planta. Existe recirculación, en especial encima de la descarga del secundario. El flujo aparece bifurcado (flecha).

- b) Modelo 13: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma en función de la temperatura facilitada por el fabricante.

Al igual que en el modelo anterior los flujos por los enlaces son muy elevados. El método cálculo según Norma determina que no hay depresión en el punto de referencia, lo contrario de lo indicado por la solución CFD.

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)		
Pisos	Modelo 12	Modelo 13
Piso 1°	0.075899035	0.06734585
Piso 2°	0.061384555	0.054396525
Piso 3°	0.051042043	0.045168549
Piso 4°	0.043796349	0.038651425
Piso 5°	0.039671935	0.034816146
Piso 6°	0.038345512	0.033274133
Piso 7°	0.041552819	0.035022553
Total	0.35169225	0.30867518

TABLA 26

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGÚN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)	
Modelo 12	Modelo 13
0.025	0.025

TABLA 27

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)		
Pisos	Modelo 12	Modelo 13
Piso 1°	-18.603104	-12.501202
Piso 2°	-12.152691	-8.1457253
Piso 3°	-6.1650085	-4.099843
Piso 4°	-8.3894272	-5.6080122
Piso 5°	-5.0506573	-3.3217745
Piso 6°	-4.7143421	-3.0327721
Piso 7°	-5.5421128	-3.3630235

TABLA 28

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)		
	Modelo 12	Modelo 13
Total	53927.17	26139.507

TABLA 29

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)		
	Modelo 12	Modelo 13
Total	-10343.594	-5817.0053

TABLA 30

DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)				
	Modelo 12		Modelo 13	
	Modelo 12	(cálculo numérico)	Modelo 13	(cálculo numérico)
	-8.754673	10.549	-5.2792273	11.553

TABLA 31

3.2.6.- Caso 6

7 generadores con longitudes horizontales y verticales de enlace de 0.4 m y 0.2 m respectivamente, 300 mm.de diámetro y 4.5 metros de distancia al punto de referencia desde la descarga (Tablas 32, 33, 34, 35, 36 y 37) (Figura13). Se compone de dos modelos diferentes.

a) Modelo 14: temperatura de humos de entrada en el enlace según lo calculado por la Norma. Resuelto según Norma.

Los flujos máscicos entrantes son mayores que los del modelo 12 (ya elevados de por si). La depresión en el punto de referencia es destacable

en contraposición a la inexistencia de tiro que manifiesta el método según Norma

b) fabricante. Resuelto según cálculo de la Norma.

Lo indicado para el anterior modelo es válido para este si lo comparamos con el modelo 13.

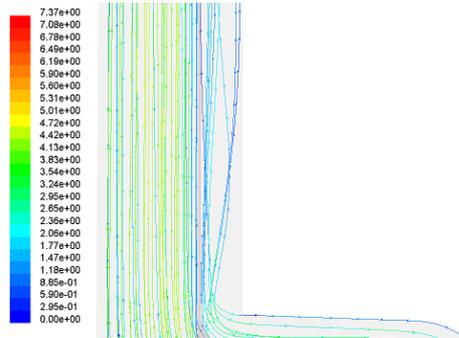


FIGURA 13.- Líneas de corriente coloreadas por velocidad (modelo 15). Separación de algunas líneas de corriente hacia la pared exterior (más fría)

MASA ENTRANTE POR LOS ENLACES (kg/s)		
Pisos	Modelo 14	Modelo 15
Piso 1°	0.077598117	0.068158999
Piso 2°	0.063065641	0.055246864
Piso 3°	0.052896947	0.046185091
Piso 4°	0.045953881	0.039966721
Piso 5°	0.042242814	0.036602311
Piso 6°	0.04136081	0.035738491
Piso 7°	0.046089631	0.039858252
Total	0.36920784	0.32175673

TABLA 32

MASA ENTRANTE POR CADA ENLACE SEGÚN CÁLCULO DE NORMA (kg/s)	
Modelo 14	Modelo 15
0.025	0.025

TABLA 33

PRESIÓN ESTÁTICA (TIRO) EN LA ENTRADA DE LOS ENLACES (Pa)		
Pisos	Modelo 14	Modelo 15
Piso 1°	-19.447433	-12.805434
Piso 2°	-12.830261	-8.4029837
Piso 3°	-9.0139084	-5.8642335
Piso 4°	-6.7927179	-4.3842845
Piso 5°	-5.7335424	-3.6727228
Piso 6°	-5.4952316	-3.5008616
Piso 7°	-6.8345222	-4.3613524

TABLA 34

ENERGÍA DE LOS HUMOS ENTRANTE POR LOS ENLACES (W)		
	Modelo 14	Modelo 15
Total	56612.938	27247.288

TABLA 35

PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DE CHIMENEA Y ENLACES (W)		
	Modelo 14	Modelo 15
Total	-10884.477	-6099.7916

TABLA 36

DEPRESIÓN EN EL PUNTO DE REFERENCIA (Pa)			
Modelo 14	Modelo 14(cálculo numérico)	Modelo 15	Modelo 15(cálculo numérico)
-11.783443	10.44	-7.2612681	12.101

TABLA 37

3.3.- Resumen del análisis

1.- El flujo másico que entra por los enlaces disminuye de valor a medida que nos encontramos en plantas más elevadas. Aunque la Norma no contempla este fenómeno, el CFD si, poniendo de manifiesto que cuanto menor es la altura disponible desde la entrada de la chimenea hasta la descarga a la atmósfera es menor el tiro disponible y por tanto también la capacidad de contrarrestar las pérdidas de carga, asumiendo un nuevo caudal circulante.

2.- Los resultados del cálculo según Norma están condicionados por la temperatura de los gases de entrada en los enlaces.

Si se estudian el caso 1 (modelos 1 y 2), caso 2 (modelos 6 y 7), caso 3 (modelos 8 y 9) y caso 4 (modelos 10 y 11) se observa que el hecho de variar la temperatura de entrada de los gases hace que haya o no depresión en el punto de referencia (no ocurre lo mismo en la solución CFD).

Las temperaturas de gases determinadas por la Norma son muy altas con respecto a las declaradas por cualquier fabricante de calderas

3.- La aplicación del método de cálculo de la Norma no contempla la variación de la temperatura de entrada en función de la masa de humos entrante, sino más bien lo contrario ya que a todos los efectos la considera constante. Esta simplificación evita corregir la estimación de los flujos másicos entrantes en función de las fuerzas ascensionales provocadas por la dependencia de la densidad de los humos y de la temperatura de los mismos. Este fenómeno de sobre-ventilación es apreciable al estudiar los resultados de masas entrantes por los enlaces resultantes de los cálculos con CFD.

4.- El aumento de la longitud del último tramo de chimenea hace que aumenten los valores de caudal másico de humos a circular por la chimenea.

5.- La imposición de una pérdida de carga constante en las entradas, (no contemplado por la Norma), hace que la presión estática en las entradas aumente a la vez que disminuye el caudal de gases circulante.

6.- La eliminación de los conductos secundarios trae como consecuencia una mejora general de todos los parámetros de evacuación a excepción de los correspondientes al último piso, que pueden incluso empeorar. Esto es debido al mayor flujo entrante por las plantas inferiores que limita la pérdida de carga disponible para la circulación de los PDC de esta última caldera.

7.- Una chimenea sin secundarios, con la descarga del último piso independiente y con secciones de valor creciente con la altura se demuestra como la mejor solución.

4.- COMENTARIOS AL MÉTODO DE CÁLCULO DE LA NORMA

A continuación se exponen una serie de puntualizaciones sobre los fundamentos de la metodología de cálculo que propone la Norma UNE 123001:2005 y su 1ª modificación de abril de 2006.

1.- El caudal másico de aire entrante por el cortatiros se considera constante e igual al 50% del de los humos entrantes al mismo. Mantener esta estimación es igual que aceptar que la variación de tiro efectivo a lo largo de la chimenea no va a afectar a los caudales másicos provenientes de las calderas. Como se puede apreciar en los resultados de los casos resueltos, siguiendo el proceso de cálculo con CFD, se comprueba que a medida que el tiro efectivo es de una magnitud mayor (zonas inferiores de la chimenea) los caudales másicos de las calderas ubicadas en esas zonas son más elevados que los de las calderas de las plantas superiores.

La evaluación del comportamiento de la trayectoria de los humos a lo largo de los diferentes conductos no se puede establecer, ya que se parte de una hipótesis de cálculo errónea en la que la cantidad estimada de entrada de aire por el cortatiros es a todas luces insuficiente para las primeras plantas y desorbitada para sobre todo la última.

2.- El número de alturas máximo admisible (7), parece elevado para el correcto funcionamiento de las calderas de los primeros pisos. Estas calderas van a disponer de un tiro efectivo alto que provoca unas entradas de caudales másicos de los PDC grandes. Esta situación va a repercutir negativamente en la pérdida de carga ocasionada en el tramo final del conducto principal y en la evacuación de los PDC de las últimas calderas (especialmente de la última).

3.- Como consecuencia de lo expuesto en el punto anterior parece lógico pensar que al menos la última planta debiera de transcurrir de forma independiente hasta descargar en la atmósfera, al objeto de garantizar la correcta evacuación de los PDC.

4.- Continuando en la línea de lo expuesto en los dos puntos anteriores, es muy difícil que con una distancia mínima de 3 metros de longitud del último tramo del conducto principal, (desde la descarga del enlace de la última caldera hasta la salida a la atmósfera), se pueda garantizar realmente en todas las situaciones de carga y climatología, la correcta evacuación de los PDC.

5.- En la entrada del enlace, la diferencia de presiones que se establece entre el exterior y el interior de éste es de valor cero. En la realidad una chimenea funcionando en estado estacionario tiene que inducir una depresión en la entrada del enlace, que es condición necesaria aunque no suficiente para la evacuación completa de los PDC.

6.- Las pérdidas de carga que se originan por las entradas de aire (rejillas de ventilación), a los locales donde se encuentran instaladas las calderas (caso de estar en el interior de la edificación) no se contemplan en el desarrollo del cálculo.

7.- Las pérdidas de carga que se originan al paso del aire y los PDC por el interior de las calderas tampoco son tenidas en cuenta en el cálculo, dando lugar a unos valores de las masas entrantes superiores a las correspondientes a un cálculo con corrección de la pérdida de carga en función del flujo másico, como por ejemplo

sucede si los casos son resueltos según el procedimiento de la Norma UNE-EN 13384-2:2005 y la CFD.

8.- La influencia del viento en la descarga de los PDC a la atmósfera no es analizado ni estimado para la obtención de un resultado.

9.- Cuando se efectúa el cálculo de la depresión disponible en el conducto secundario, se asume en primera aproximación una velocidad media de los PDC en función del caudal másico de acuerdo a la ecuación A.28 El resultado obtenido de la aplicación de la mencionada ecuación da unos valores de velocidad media de los PDC en el secundario que provocan que el valor del diámetro hidráulico sea menor del mínimo (0.12m). Es por ello que el cálculo se queda siempre parado en este punto. Para solucionarlo se debe implementar por defecto un valor del diámetro hidráulico de 0.12 m. o dar la posibilidad de que desde el principio, el usuario establezca la sección del secundario.

La utilización de conducto secundario parece que pudiera ser una ventaja frente a no disponer de él (no se tienen ni datos ni estudios). En la situación de que una extractora esté funcionando y la caldera instalada en la misma cocina esté parada, tiene una menor posibilidad de que por la depresión generada puedan entrar en la cocina humos provenientes del conducto principal, que si se careciese de él.

10.- Uno de los requisitos del conducto secundario es que su diámetro hidráulico no tenga un valor menor de 0.12 m.(como se ha comentado anteriormente) Sin embargo se debiera exigir que tampoco sea menor que el diámetro hidráulico del enlace. Este a su vez no puede ser inferior al determinado por el fabricante de la caldera a la que da servicio.

Algunos modelos de calderas requieren un diámetro del conducto de humos superior a 0.12 m.

11.- La temperatura de salida de los humos del generador calculada por la Norma, toma valores excesivamente elevados, lo que trae como consecuencia que los de la temperatura en el cortatiros también lo sean, en un porcentaje que puede llegar al 40% con respecto a la declarada por un fabricante. Este anormal valor de la temperatura introducido en el cálculo influye muy directamente en el tiro y por tanto en la determinación de las depresiones disponibles en los diversos tramos de la chimenea. Es el motivo principal de que los resultados obtenidos con CFD sean aceptables ya que las temperaturas de humos que se han impuesto para el cálculo son muy elevadas. Se debe tener en cuenta que a mayor flujo másico entrante la temperatura de los humos baja debido al aumento de la entrada de aire proveniente del cortatiros. Este fenómeno se puede constatar en todos los casos correspondientes al estudio de la Norma EN 13384-2:2003/UNE-EN 13384-2:2005 tanto con el método de cálculo según esta Norma europea como con CFD que también se ha realizado pero no se presenta en esta ponencia. En ambos casos se ha implementado una corrección de la temperatura de los humos entrantes por los enlaces dependientes del flujo másico.

5.- REFERENCIAS

Ñaki Loroño Lucena, *Sistemas de Evacuación Colectiva de Humos de Calderas Tipo B, Problemática, Proposición de una Metodología de Cálculo y su Validación Mediante Fluidodinámica Computacional (1994)*, ISBN: 84-8373-789-2