

PATOGÍA, DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DE CHIMENEAS INDUSTRIALES DE FÁBRICA DE LADRILLO CERÁMICO

(PATHOLOGY, DIAGNOSIS AND REHABILITATION OF BRICKWORK INDUSTRIAL CHIMNEY)

César Díaz Gómez* y Ramon Gumà Esteve**, E. T. S. de Arquitectura de Barcelona. U. P. de Cataluña

ESPAÑA

Fecha de recepción: 29-X-99

312-2

RESUMEN

El trabajo que se presenta en estas páginas tiene su origen en un estudio encargado por el Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona en el que, a partir de la recopilación de datos de una muestra amplia de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo se realizó un análisis de las causas que han incidido, o inciden aún, en su degradación física o en su reducción progresiva de seguridad, considerando tanto los esquemas de fisuración y los daños que presentan como los datos que se deducen de la evaluación analítica de sus características resistentes. Se incluye también una sinóptica de las actuaciones tipo de reparación de factible aplicación en función de las causas que, en cada caso concreto, originan las lesiones. El objetivo fundamental del estudio es facilitar información que pueda ser utilizada para preservar las chimeneas que aún se hallan en pie de actuaciones que, innecesariamente, destruyan, total o parcialmente, su integridad física.

SUMMARY

The work presented in these pages originated from a study commissioned by Barcelona Provincial Council's Architectural Heritage Service, in which data was gathered on a broad sample of brickwork industrial chimneys in order to analyse the factors that have contributed or continue to contribute to their physical deterioration and the progressive jeopardising of their safety. The aspects considered include cracking patterns and damage found, and also data deduced from the analytical evaluation of its strength characteristics. There is also an overview of feasibly applicable standard measures for their repair, attending to the causes of the damage in each particular case. The main objective of the study is to provide information for use in the preservation of chimney stacks that are still prone to processes of unnecessary total or partial destruction of their physical integrity.

Introducción

No son muy abundantes los trabajos que se refieren, monográficamente y desde la vertiente constructiva, al tema de las chimeneas industriales construidas con ladrillo cerámico. Tal vez esto es así porque, tradicionalmente, su único y exclusivo interés no era otro que el funcional, y no ha sido hasta hace relativamente pocos años cuando se le ha añadido otro valor de carácter muy diferente, el patrimonial, absolutamente impensable cuando se erigieron. Por otra parte, la dificultad de conseguir que confluyan conocimientos de muy diversa índole para

profundizar en su estudio, ralentiza su investigación a partir de los niveles en que se hace imprescindible una síntesis científica profunda.

Evidentemente, el trabajo presentado en estas páginas, el cual tiene su origen en un estudio encargado por el Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona, no pretende rellenar todo el vacío de conocimiento existente. Se trata de abrir las puertas e iniciar el camino de la investigación sobre el estado actual de un elemento constructivo muy concreto, las chimeneas industriales de ladrillo cerámico, a las

causas que han generado -o que todavía generan- su alteración y disminuyen su seguridad y, finalmente, a las intervenciones de reparación o restauración que es posible realizar en ellas. Todo ello con el objetivo de evitar en lo posible su desaparición y mantener en las mejores condiciones posibles todo el encanto y esplendor de su singular belleza.

La muestra en que se fundamenta el estudio está formada por el conjunto de chimeneas relacionadas en la Figura 2, ubicadas en la cuenca del río Llobregat -una de las zonas de Cataluña con mayor concentración industrial durante la segunda mitad del siglo XIX y principios del actual- y en algunas ciudades y poblaciones fuertemente industrializadas durante este período, territorialmente cercanas a la metrópolis barcelonesa. En su conjunto, dicha muestra se puede considerar representativa del abundante número de chimeneas aún en pie en muchos de los pueblos y ciudades de la Cataluña actual.

Encaje histórico

La construcción de chimeneas industriales de ladrillo cerámico coincide - cuanto menos en muchas de las implantaciones industriales catalanas- con la adopción de la caldera de vapor como nueva técnica en los procesos de producción y con el uso del carbón como recurso energético natural. Por los datos disponibles puede deducirse que hacia la segunda mitad del siglo pasado se habían levantado ya un gran número de chimeneas de estas características⁽¹⁾, y que su construcción perduró a lo largo de toda la primera mitad del siglo actual hasta bien entrados los años '50, época en que la energía eléctrica vino a sustituir, de manera económicamente ventajosa, el anterior sistema energético de producción⁽²⁾⁽³⁾.

En la mayor parte de chimeneas observadas, los modelos de referencia adoptados para su construcción fueron, en aquellos años, muy parecidos a los de los países de Europa con procesos de industrialización más avanzados y, de manera más concreta, a los modelos franceses e ingleses, de los que se disponía incluso de un cierto nivel de información bibliográfica, consultable actualmente en el *Fondo de Libros Antiguos de la Escuela T. S. de Ingenieros Industriales de Barcelona (UPC)*⁽⁴⁾, y del que citamos, por su interés específico, el libro de A. Gouilly que lleva por título *Théorie sur la stabilité des hautes cheminées en maçonnerie*, el cual incluye una tipología muy explícita de las diversas formas de chimeneas de la época (Fig. 1). En dicho libro se han podido descubrir, además, algunas de las variantes formales de los tubos y los remates superiores. No incluye, en cambio, la chimenea de desarrollo en espiral, de especial relevancia por su rareza y manierismo constructivo (Foto 1); ni tampoco la chimenea con cámara de aire entre el paramento interior del tubo y el exterior, de la cual se dispone de ciertas referencias sobre su construcción⁽⁵⁾.



Foto 1.- Chimenea con tubo en espiral (Sant Quinti de Mediona).

El destino inicial de las industrias equipadas con caldera de vapor fue, en una importante proporción, el de la producción textil⁽⁶⁾. Muchas de estas industrias adoptaron otro tipo de energía a lo largo del siglo actual y, en consecuencia, la chimenea dejó de ser un elemento funcional aunque, a resultas de las restricciones de energía eléctrica de la postguerra, no fueron pocos los casos en que volvieron a entrar en funcionamiento. De hecho, algunas aún se hallan en servicio, si bien expulsando gases de combustión que normalmente ya no provienen del carbón, sino del gas natural o del fuel-oil, de mayor aplicación en la actualidad.

Características geométricas y constructivas

Un importante número de las chimeneas observadas adoptan unas pautas morfológicas que permiten diferenciar externamente *una base* más o menos moldurada, *el tubo* propiamente dicho y *el remate superior*, también más o menos moldurado (Fotos 2, 3). Sin embargo, esta diferenciación en altura no se corresponde con una diferenciación funcional del conducto, el cual transcurre por el interior de las tres partes citadas (Foto 4) sin distinguirse visualmente, manteniendo continua y sin relieve su superficie. Por lo que se refiere a *la base*,

Cheminée de St. Louis, près de Marseille (figs. 5, 6 et 7)

Cheminée S^{te} Marie, Montceati-les Mines, Saône-et-Loire (figs. 3 et 4)

Cheminée des Charbonnages.
Nord de Charleroi (figs. 1 et 2)

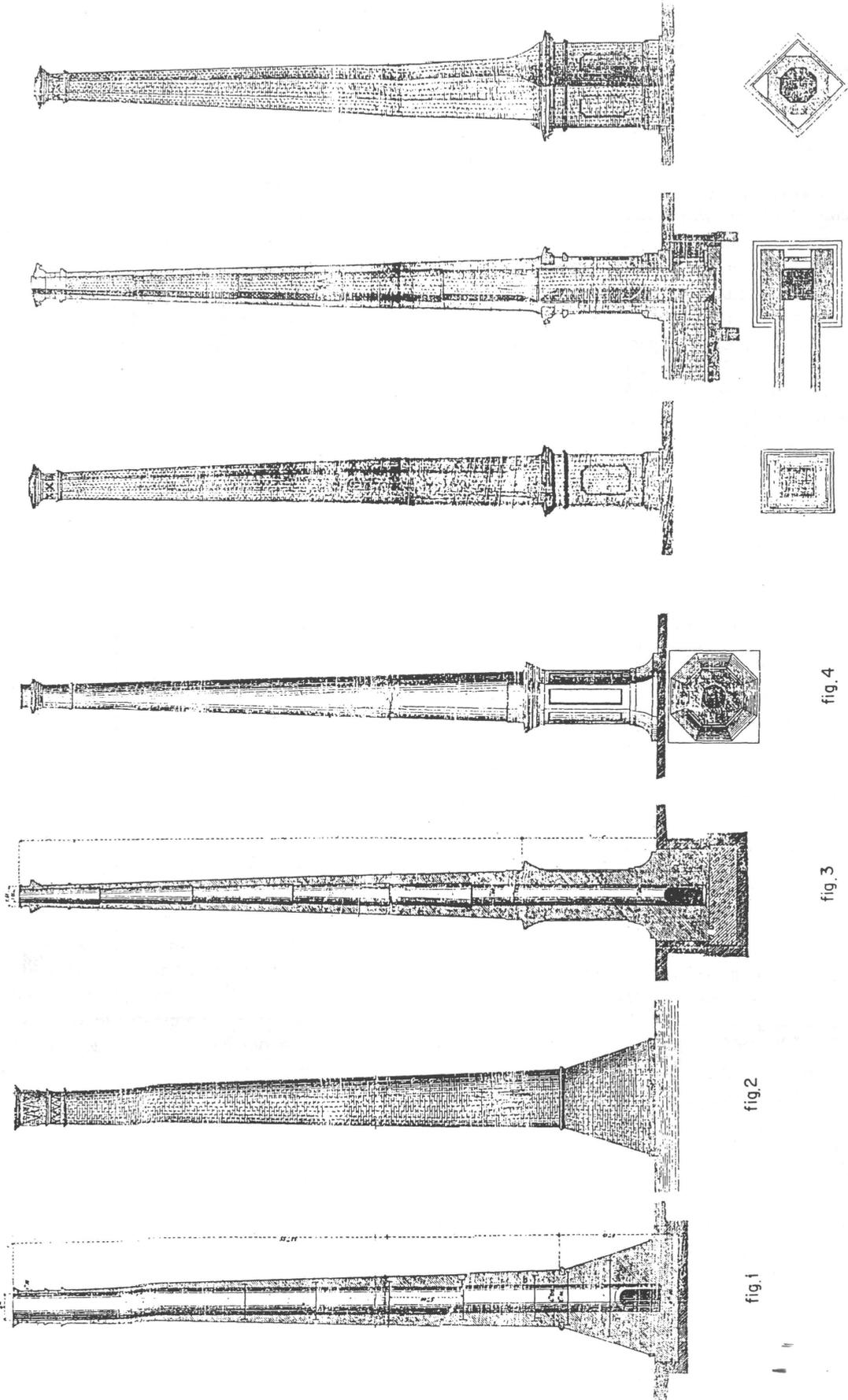


Figura 1.- Tipos de chimeneas que aparecen en el libro de A. Gouilly, editado en París en el año 1876.



Foto 2.- Chimenea con tubo octogonal (Balsareny).

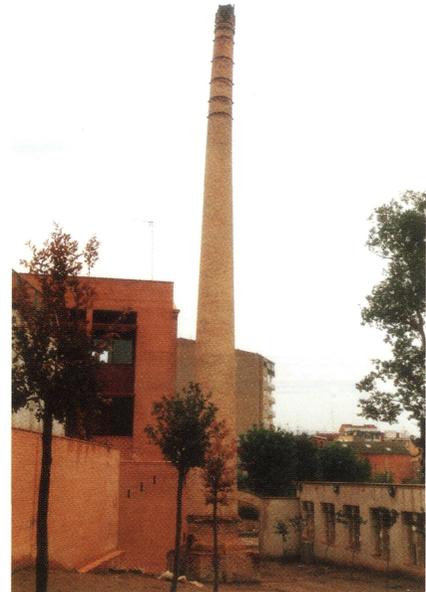


Foto 5.- Chimenea con base prismática cuadrangular y tubo circular (Santa Margarida de Montbui). Constituye un ejemplo del tipo más habitual.



Foto 3.- Detalle del remate superior ornamentado, con pararrayos incorporado de la chimenea de Balsareny.



Foto 4.- Paramento interior del tubo y del remate de la chimenea del Vapor Aymerich, Amat i Jover (Terrassa), visto desde la parte superior de salida de humos. El redondel con piezas de mayor anchura corresponde al arranque del remate superior. La escalera de acero recorre la totalidad del tubo



Foto 6.- Detalle de la base y el arranque del tubo circular de la chimenea de Santa Margarida de Montbui. La fisura, partiendo de la boca de la salida de humos, debida a los efectos de la expansión de origen térmico experimentada por la fábrica, es frecuente en esta situación.

normalmente adopta la forma prismática de planta cuadrangular (Fotos 5, 6), aunque en algún caso el perímetro es octogonal, y en algún otro es circular o, sencillamente, no dispone de base morfológicamente diferenciada del tramo superior. El tubo es la parte principal de las chimeneas, el que por analogía podría asociarse al fuste de

la columna clásica, y adopta en un alto porcentaje de casos la forma troncocónica, aunque no son excepcionales otras formas de secciones diferentes de la circular, tales como la octogonal, la cuadrada o, incluso, como ya se ha citado anteriormente, la de desarrollo en espiral. *El remate*

superior acostumbra a tratarse como un motivo ornamental, con presencia de molduras o cenefas.

En el cuadro de la Figura 2 se relacionan los datos dimensionales disponibles de una muestra de 29 chimeneas,

	Incl. N ↑	(a) Altura tubo	Altura base	(b) ∅ ext. inf. tubo	Esbelt. a/b	Forma tubo
(A-1)	↘	19.40	2.65	1.80	10.8	Cr
(A-2)	↘	25.00	3.00	2.30	10.8	Cr
(A-3)	↘	19.50	5.10	1.60	12.2	Cr
(B-1)	↘	34.00	7.00	3.10	10.9	Cr
(B-2)	↘	cortada	3.20	1.90	---	Cr
(B-3)	↘	cortada	5.00	2.40	---	Cr
(B-4)	↘	20.00	5.00	2.40	8.3	Cr
(B-5)	↘	21.00	5.50	2.30	9.1	Cr
(B-6)	↘	34.00	5.00	3.20	10.6	Cr
(B-7)	↘	17.00	0.00	2.00	8.5	Cr
(B-8)	↘	32.70	6.00	---	11.7	Oct
(B-9)	↘	13.00	---	---	---	Cr
(C-1)	↘	24.00	4.00	2.80	8.6	Cr
(C-2)	↘	27.00	2.30	2.50	10.8	Cr
(C-3)	↘	-----	-----	-----	-----	Cr
(C-4)	↘	21.00	3.50	---	---	Esp
(C-5)	↓	20.00	---	1.85	10.8	Oct
(C-6)	↘	20.00	0.00	1.97	10.1	Cu
(C-7)	↘	25.00	4.00	2.50	10.0	Cr
(C-8)	↘	24.00	6.00	2.90	8.3	Cr
(C-9)	↘	12.00	---	---	---	Cu
(C-10)	↓	28.00	---	---	11.2	Cr
(C-11)	↘	15.00	12.00	2.00	7.5	Oct
(D-1)	↘	16.00	5.00	---	8.9	Cr
(D-2)	↘	24.00	---	2.40	10.0	Cr
(D-3)	↘	15.30	3.00	1.65	7.6	Cr
(D-4)	↘	-----	-----	-----	-----	Esp
(D-5)	↘	18.00	4.20	2.10	8.6	Cr
(D-6)	↘	17.00	2.10	2.10	8.1	Cr

Legenda

Cr Circular
Cu Cuadrada
Oct Octogonal
Esp Especial (En espiral)

Datos adicionales

Chimenea de Can Ganeta (A-1)

∅ interior inferior del tubo 1.00
∅ interior superior del tubo 0.65
∅ exterior superior del tubo 0.95
Sección inferior del tubo 0.45
Sección superior del tubo 0.15

Chimenea del vapor Aymerich, Amat y Jover (B-1)

∅ interior inferior del tubo 2.20
Sección inferior del tubo 0.45

Chimenea de la bovila Magem (D-2)

∅ interior inferior del tubo 1.50
Sección inferior del tubo 0.45

Relación de emplazamientos

A-1 Can Ganeta (Vilanova i La Geltrú)
A-2 "La Bòvila" (Vilanova i La Geltrú)
A-3 Chimenea al P.I. Vilanoveta (St. Pere de Ribes)
B-1 Vapor Aymerich, Amat i Jover (Terrassa)
B-2 Vapor Badiella (Terrassa)
B-3 Indústria Filcolor, S.A. (Terrassa)
B-4 Vapor Montset (Terrassa)
B-5 Fàbrica Pont, Aurell, Armengol (Terrassa)
B-6 Terrassa Industrial (TISA) (Terrassa)
B-7 Tintoreria Lanera (Terrassa)
B-8 Tintoreria Lanera (Terrassa)
B-9 Tintoreria Doré (Terrassa)
C-1 Indústria Acuabase, S.A. (Olesa de Montserrat)
C-2 Recinto Industrial Càtex-Molí (Olesa de Montserrat)
C-3 Recinto Industrial Càtex-Molí (Olesa de Montserrat)
C-4 Fàbrica de la Colònia Sedó (Esparreguera)
C-5 Fàbrica Velet-Vendrell (Sant Vicenç de Castellet)
C-6 Bòvila a la ctra. del Pont de Vilumara
C-7 Indústria en el T.M. de El Pont de Vilumara
C-8 Manufacturas Berenguer (Cabrianes)
C-9 Antigua harinera ctra. a Cabrianes
C-10 Fàbrica Solervicens (Sallent)
C-11 Fàbrica Solervicens (Sallent)
D-1 Indústria de la estació (Vilafranca del Penedès)
D-2 Bòvila d'en Magem (Vilafranca del Penedès)
D-3 Fàbrica de Ca l'Olivé (Sant Quintí de Mediona)
D-4 "La Fassina" (Sant Quintí de Mediona)
D-5 Cal Boier (Igualada)
D-6 El vapor de Baix o de la vda. Cistaré (Igualada)

Figura 2.- Características geométricas de las chimeneas industriales de la muestra.

así como otros datos recopilados durante la inspección visual y la búsqueda bibliográfica efectuadas. Un análisis primario de dichos datos permite establecer las siguientes características morfológicas generales en relación a las chimeneas estudiadas:

Altura

Las alturas totales (base, tubo y remate superior) más frecuentemente adoptadas oscilan entre los 20 y los 30 metros. Chimeneas de más de 30 metros corresponden ya a industrias de una cierta importancia.

Evidentemente, abundan también las de altura inferior a 20 metros, aunque en la muestra tan sólo hay dos incluidas, al darse primacía en el estudio a las de mayor altura.

Sección de los tubos

Como ya se ha comentado anteriormente, se pueden distinguir cuatro formas geométricas diferentes de secciones horizontales, cada una con las peculiaridades siguientes

- Circular

Los diámetros exteriores en la parte inferior del tubo oscilan entre 1,50 y 3,50 metros, aunque no existe una relación precisa entre dicho diámetro y la altura del tubo, puede establecerse, como pauta general, que para los tubos de más de 20 metros, el diámetro exterior de la base supera los 2 metros y para tubos de más de 25 metros, se acerca -y casi siempre supera- los 2,5 metros. En relación al grueso de la corona de ladrillo, con los datos disponibles puede inducirse que oscila entre los 0,40 y los 0,60 metros en la base y que va reduciéndose a medida que va ganando altura, hasta llegar a unos gruesos cercanos a los 0,15 metros en el remate superior.

- Octogonal

De los tres ejemplos disponibles, correspondientes a tubos de chimeneas de muy diferentes alturas (32,70, 20,00 y 15,00 metros), sólo se puede deducir que la dimensión de los lados en la base oscila entre 0,75 y 1,20 metros, reduciéndose en altura de forma similar a las de base circular.

- Cuadrada

Los dos casos incluidos en la muestra son suficientes para indicarnos, como dato a destacar, que esta forma de la base -no muy racional si se considera la optimización de la resistencia a la sollicitación horizontal del viento- se adoptó a veces en chimeneas de considerable altura, como la de 20 metros de San Vicenç de Castellet⁽⁷⁾ (Foto 7).

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

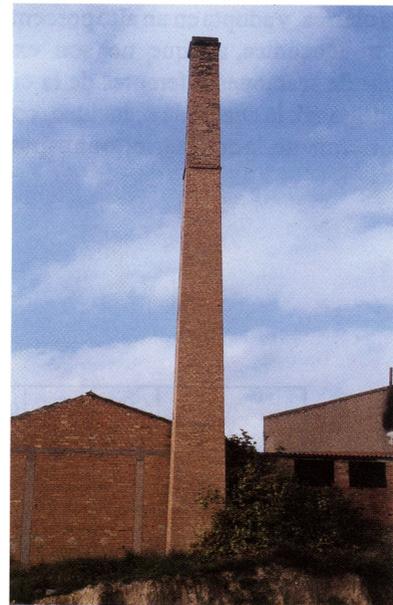


Foto 7.- Chimenea con tubo cuadrado (Sant Vicenç de Castellet).

- En espiral

La singularidad de esta forma - eminentemente ornamental - y el escaso número de ejemplos existentes en Cataluña hace difícil extraer del presente estudio características generalizables. En todo caso, cabe destacar que también existen chimeneas de este tipo de más de 20 metros de altura.⁽⁸⁾

Esbeltez

Para la verificación de las condiciones resistentes a sollicitaciones horizontales, se considera como dato de referencia de más fácil comparación y, en muchos casos, de más significación, la relación (a)/(b) entre la altura (a) de los tubos (incluyendo el remate superior) y la anchura (b) de su base, la cual recibe el nombre de *esbeltez*. Se verifica que, en general, la *esbeltez* de las chimeneas industriales de ladrillo adopta valores comprendidos entre 8 y 11, siendo, en la mayor parte de los casos, valores cercanos a 10.

Inclinación

Se ha detectado que muchas de las chimeneas observadas manifiestan una visible inclinación (Fotos 8, 9), cuya orientación, en relación al norte, se indica en el cuadro que se adjunta. Puede verificarse que, en una proporción importante, la inclinación se orienta hacia el sur o sur-este (más del 60%) y que el resto, con muy pocas excepciones, lo hace al oeste o norte-oeste.

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>



Foto 8.- Chimenea fuertemente inclinada hacia el Sur (Sallent).

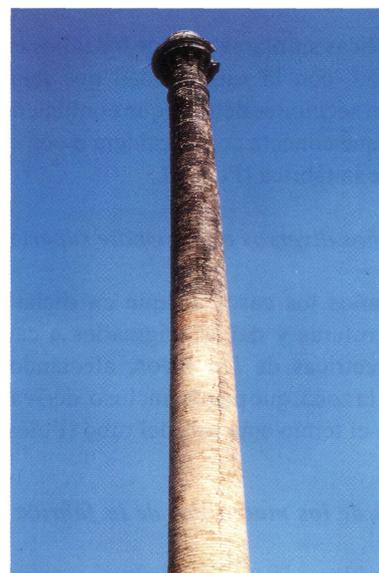


Foto 9.- Chimenea con fuerte inclinación en el tercio superior, con fisura vertical de expansión radial debida a la temperatura, remate parcialmente desprendido y restos de los productos de la combustión depositados en el paramento externo del tramo superior del tubo y del remate (Vilanova i la Geltrú).

Técnicas de ejecución

Sobre la forma en que fueron construidas, no ha sido posible disponer de mucha información de primera mano. Se sabe que los ladrillos eran aplanillados, para adaptarse a la forma de la sección tronco-cónica del tubo y a la reducción dimensional en altura, que, en las chimeneas levantadas antes de los años cincuenta, el mortero era normalmente de cal y que la construcción avanzaba por hiladas horizontales, ubicándose el albañil en el espacio central del tubo. Los datos obtenidos en las dos chimeneas a las que se ha tenido acceso al interior del tubo (“Vapor Aymerich, Amat i Jover” y “Can Ganeta”) han permitido trazar las secciones verticales a toda altura de las dos chimeneas y verificar analíticamente, con suficiente aproximación, sus características mecánico-estructurales⁽⁹⁾.

Descripción de las patologías

Distinguiremos dos tipos de lesiones de características bien diferenciadas: por una parte, las fisuras que se marcan en la fábrica de ladrillo y, por la otra, las alteraciones de los materiales que la conforman, o sea, de los morteros de las juntas y de los propios ladrillos.

Fisuras

Haremos referencia a ellas en función de su situación:

Fisuras en los tubos

Casi siempre se presentan en el sentido vertical, siguiendo fielmente una generatriz troncal (Fotos 6, 9, 10). En (c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

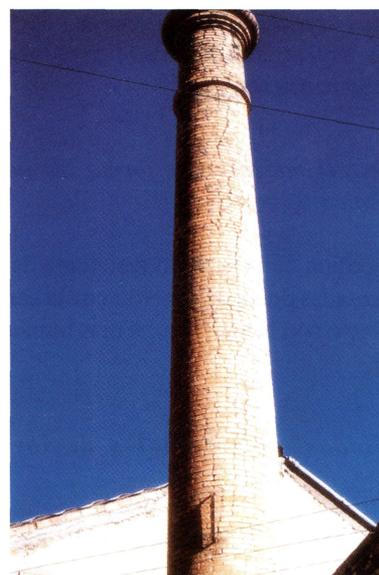


Figura 10.- Esquema de fisuración típico, originado por la expansión radial del tubo bajo los efectos de las altas temperaturas de los humos (Igalada).

ocasiones, sin embargo, se presentan serpenteando por la superficie del tubo o en forma de zig-zag, marcando las juntas de la fábrica. Abundan más en los tramos superiores de los tubos pero, de hecho, no hay una ley clara en relación a su localización. En cuanto a su anchura, acostumbra a ser bastante homogénea, sin que dicha apreciación se pueda generalizar a la totalidad de los casos.

Fisuras en las bases

De características similares a las de los tubos en cuanto a su verticalidad, con la singularidad que generalmente coinciden con secciones débiles que contienen la bocana de la galería que conecta con la caldera o con entrepaños refundidos de la fábrica (Foto 6).

Fisuras y daños diversos en el remate superior del tubo

No son extraños los casos en que en dicha parte son patentes las roturas y daños originados a causa de las descargas eléctricas de los rayos, afectando entonces claramente a la zona, que puede, incluso, derivar en fisuras verticales en el tercio superior del tubo (Fotos, 5, 9).

Alteraciones de los materiales de la fábrica

Se puede establecer la siguiente clasificación:

Variaciones volumétricas de los materiales

Hace falta relacionarlas con la porosidad y posibles alteraciones químicas de los materiales que conforman la fábrica. Son las que provocan la inclinación visible en los tubos de numerosas chimeneas. Se presentan especialmente en el tramo superior de los tubos y en los remates de coronamiento.

Disgregación del mortero que forma las juntas de la fábrica cerámica

Provoca la pérdida de la sección resistente de la fábrica. Las zonas afectadas pueden coincidir con la cara expuesta al viento salino o con la cara o zona más húmeda del tubo o del remate.

"Descantillados" superficiales de los ladrillos cerámicos

De efectos similares a la disgregación del mortero de las juntas, se producen también preferentemente en los tramos superiores y en las zonas afectadas por el viento salino y la humedad.

Alteraciones del color de los materiales de la fábrica.

Suelen presentarse en las zonas más afectadas por alteraciones de tipo químico, con diferencias de exposición en relación al viento dominante o al viento húmedo o, incluso, con diferencias originales en las características de porosidad de los ladrillos con que fue ejecutada (Foto 9). En áreas geográficas fuertemente polucionadas, las alteraciones de color son más frecuentes y visibles.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Causas de las fisuras y de las alteraciones de los materiales

Las causas de las patologías observables en las chimeneas pueden establecerse a partir del análisis de las acciones que están sometidas y de la relación de dichas acciones con las circunstancias específicamente derivadas de la función que desarrollaban en el proceso de producción energética. Cabe destacar, en concreto, las siguientes circunstancias.

. La temperatura de los humos a su paso por el conducto de la chimenea era siempre superior a los 100 °C, no era extraño que llegase a los 150 °C, y podía, en ocasiones, ser superior a los 200 °C. Es evidente, considerando estos datos, la importante tensión, de origen térmico, a que estaba sometida la fábrica a estas elevadas temperaturas.

. La combustión del carbón genera CO₂, SO₂, H₂O en forma de vapor, y calor. Como ya es sabido el CO₂ y el SO₂ combinados con agua pueden producir líquidos ácidos, carbónicos o sulfurosos, capaces de reaccionar con óxidos de cal (CaO), de sodio (NaO) o de magnesio (MgO), y con los sulfoaluminatos presentes en la fábrica cerámica que conforman los conductos. En concreto, los sulfatos así formados, en presencia de agua, cristalizan y se expanden, originando aumentos de volumen de la zona de fábrica afectada. Estos mismos sulfatos, en presencia de una cantidad de agua suplementaria proveniente de las condensaciones o de las penetraciones del exterior, pueden ponerse en solución y producir eflorescencias que alteren de manera más o menos permanente el color de la fábrica, en función del poder de fijación de los productos de la combustión expulsados por la chimenea y del contenido de impurezas de la atmósfera. Dichos factores, junto al de las eflorescencias, también inciden en la suciedad observable en la parte exterior de los conductos. El *descantillado* de los ladrillos y de la disgregación de las juntas de mortero son otras consecuencias de las alteraciones químicas producidas por la hidrólisis de las sales generadas en estos procesos.

Los daños observables en las chimeneas son consecuencia de las dos circunstancias descritas. Así, la mayor parte de las patologías que hoy en día son visibles en sus paramentos tienen su origen en la tensión térmica originada por la alta temperatura de los humos. El sitio concreto donde dichas fisuras se presentan en cada caso es función del régimen de temperaturas de los humos y de las características constructivas de la chimenea (reducciones de sección de la fábrica a lo largo del tubo, presencia de secciones débiles en la base, etc.)

Otro de los daños observables en casi todas las chimeneas -la inclinación de los conductos- también cabe relacionarlo con varias de las circunstancias anteriormente

comentadas, derivadas de la combustión del carbón y, en general, de todos los combustibles que contengan azufre, puesto que la inclinación de las chimeneas es debida, en general, a la expansión diferencial de las juntas de la fábrica afectadas por la sulfatación del mortero que los conforma, siguiendo el proceso detallado anteriormente. La dirección hacia donde se inclinan puede variar en función de la acción dominante en cada caso, la cual puede ser de índole muy diversa, incluso en un mismo conducto. Es posible distinguir, a modo de ejemplo, las siguientes posibilidades:

- . Inclinación del tramo superior del tubo hacia el sur, debido a que el agua que llega a condensarse del vapor que circula por el interior del tubo se seca más rápidamente, o tiene menos posibilidad de formación, en la zona sur del conducto que en la zona norte, lo cual induce a que las juntas de mortero de la fábrica orientada hacia el norte se expandan más que las orientadas hacia el sur.

- . Inclinación según la dirección y el sentido del viento húmedo dominante, en el caso que sea dicho viento el que provoca la penetración de la humedad por la porosidad de la fábrica. En muchas de estas chimeneas se distingue la dirección del viento húmedo por su correspondencia con la situación de la "cara limpia" del tubo que le da frente, diferenciándose así de la zona a sotavento, más oscura y sucia.

- . Inclinación según la dirección del viento seco o cálido dominante y en el sentido contrario a dicho viento, en el caso que sea dicha acción la que llegue a ser dominante en el balance higrométrico de la fábrica.

Además de las citadas, puede haber otras causas que, de manera más o menos decisiva, incidan en la formación de las patologías comentadas. Citaremos, a modo de ejemplo, las siguientes:

- . La corrosión de los redondos de hierro que forman las escaleras interiores de las chimeneas, la cual puede propiciar la expansión del mortero y el consiguiente efecto de acuñamiento sobre la fábrica.

- . Las acciones mecánicas singulares en la fase de construcción o en los primeros años de vida de la chimenea, tales como un fuerte vendaval cuando aún el mortero de las juntas no está suficientemente endurecido.

-y otras no verificables a simple vista y sólo explicables a partir del conocimiento de las incidencias de los procesos de construcción de cada chimenea: colocación de los ladrillos con mortero de plasticidad diferente, desplomes iniciales por defectos de ejecución, uso de ladrillos de porosidades o con contenido de sales diferentes, interrupciones largas de la obra, etc.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Evaluación de las características mecánicas

Con el fin de disponer de unos datos orientativos sobre las solicitaciones mecánicas a que se encuentran sometidas el tipo de chimeneas estudiadas, se ha efectuado la verificación de las condiciones de trabajo mecánico en una sección crítica -la coincidente con la sección inferior de los tubos- en aquellas chimeneas de las que se disponía de información suficiente sobre su geometría, entre las que se encontraba la del Vapor Aymerich, Amat y Jover de Terrassa, de la cual se incluyen los cálculos efectuados y el procedimiento gráfico adoptado. Puede observarse que se han planteado dos hipótesis: una primera considerando la *acción de un viento muy fuerte*, de 54 km/h (Fig. 3); y una segunda, considerando la *acción del viento prevista en la norma NBE-AE-88*, que, para elementos de altura comprendida entre 11 y 13 metros, establece el valor de 124 km/h (Fig. 4), equiparable a la velocidad que adopta en una gran tempestad.

Los resultados que se derivan de los cálculos efectuados indican que bajo la acción del viento muy fuerte, combinada con el efecto del peso propio del material de los tubos, la fábrica de ladrillo que conforma las chimeneas en cuestión ni tan siquiera se encuentra sometida a tensiones de tracción, mientras que si se considera la acción prescrita en la norma NBE-AE-88, la resultante de las dos acciones atraviesa la sección considerada por puntos muy próximos al núcleo central de dicha sección, es decir, que, en este segundo supuesto, equiparable a la de un viento en situación de gran tempestad, las chimeneas se encontrarían sometidas a fuerzas de tracción calificables de leves en la sección de la base del tubo.

Es fácil verificar, por otro lado, que las tensiones de compresión generadas tan sólo por el peso propio de la fábrica se mantienen muy por debajo de la tensión admisible.

Estos resultados, que se han cotejado con los de otras chimeneas de la muestra, pueden considerarse extrapolables a la mayor parte de las chimeneas de las características consideradas y son avalados, además, por el comportamiento que realmente han experimentado las que, hasta la fecha, no han sufrido daños apreciables.

Influencia de las patologías observadas sobre la estabilidad de las chimeneas

Si bien los resultados de la evaluación analítica expuestos en el párrafo anterior permiten obtener una relativa tranquilidad sobre las condiciones de estabilidad de las chimeneas objeto de este estudio, cabe matizar esta primera deducción al considerar los efectos de la acción conjugada de diversos de los factores causantes de los daños que pueden observarse en ellas, los cuales pueden generar los siguientes modelos de comportamiento:

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA CHIMENEA DEL ANTIGUO VAPOR AYMERICH, AMAT I JOVER

Hipótesis nº 1: consideración de las acciones con viento muy fuerte

Bases de cálculo

Presión del viento: $w = 14 \text{ kg/m}^2$ ($v = 54 \text{ km/h}$)
 Factor de forma (Superficie poco rugosa): $c = 0,7$
 Factor de esbeltez: $h' / d = 34 / 3,1 = 10,97$; $k = 1,25$
 Presión dinámica del viento: $w' = w \times c \times k = 12,30 \text{ kg/m}^2$
 Altura de los tramos en que se divide el tubo: $h = 6,80 \text{ m}$
 Peso propio de la fábrica de ladrillo: $q = 1.800 \text{ kg/m}^2$

Peso propio de la chimenea

$$P = \sum P_i = \sum (Re_i^2 - Ri_i^2) \times \pi \times h \times q$$

$$P_1 = (0,85^2 - 0,70^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 8.940,36 \text{ kg}$$

$$P_2 = (1,00^2 - 0,775^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 15.357,24 \text{ kg}$$

$$P_3 = (1,15^2 - 0,85^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 23.071,91 \text{ kg}$$

$$P_4 = (1,325^2 - 0,95^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 32.805,37 \text{ kg}$$

$$P_5 = (1,50^2 - 1,05^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 44.125,03 \text{ kg}$$

$$P = 124.299,91 \text{ kg}$$

Acción del viento

$$H = \sum (w' \times h \times d)$$

$$H_1 = 12,30 \times 6,8 \times 1,70 = 142,19 \text{ kg}$$

$$H_2 = 12,30 \times 6,8 \times 2,00 = 167,28 \text{ kg}$$

$$H_3 = 12,30 \times 6,8 \times 2,30 = 192,37 \text{ kg}$$

$$H_4 = 12,30 \times 6,8 \times 2,65 = 221,65 \text{ kg}$$

$$H_5 = 12,30 \times 6,8 \times 3,00 = 250,92 \text{ kg}$$

$$H = 974,41 \text{ kg}$$

Radio del núcleo central de la sección de la base del tubo

$$a = (Re_i^2 + Ri_i^2) / 4 \times Re$$

$$a = (1,55^2 + 1,10^2) / 4 \times 1,55 = 0,58 \text{ m}$$

Leyenda

Re_i = Radio exterior de cada tramo en que se divide el tubo
 Ri_i = Radio interior de cada tramo en que se divide el tubo
 h' = Altura total del tubo
 h_i = Altura de cada tramo en que se divide
 d = Diámetro exterior de la base del tubo
 P = Peso propio total de la chimenea
 P_i = Peso propio de cada tramo de altura h
 H = Acción del viento sobre el total de la chimenea
 H_i = Acción del viento sobre cada tramo de altura h de la chimenea
 a = Radio del núcleo central de la sección de la base del tubo

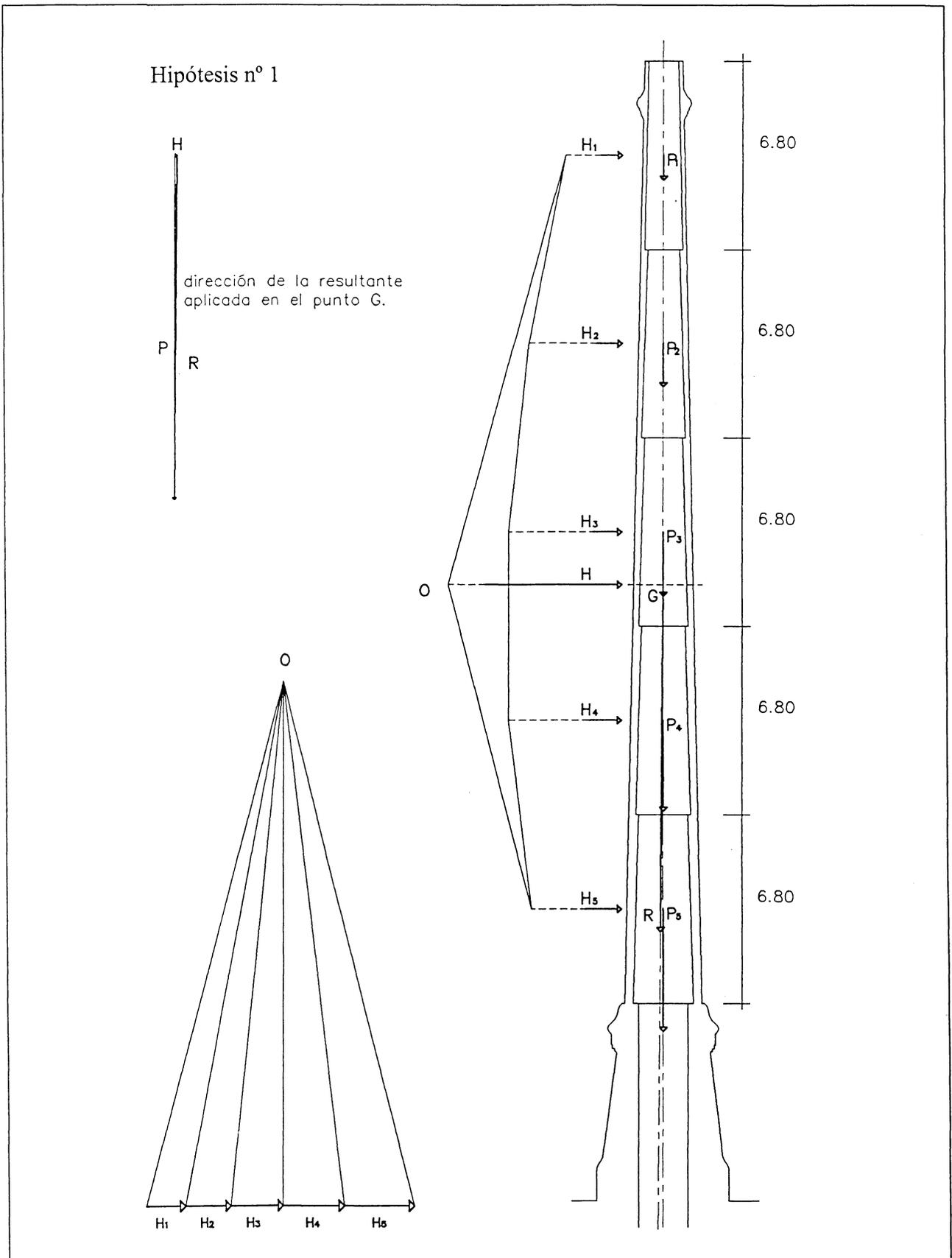


Figura 3.- Comprobación de la estabilidad de la chimenea del antiguo Vapor Aymerich, Amat i Jover. Hipótesis nº 1: consideración de las acciones con viento muy fuerte.

COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA CHIMENEA DEL ANTIGUO VAPOR AYMERICH, AMAT I JOVER

Hipótesis nº 2: consideración de las acciones establecidas por la Norma NBE-AE/88

1.- Bases de cálculo

Presión del viento: $w = 100 \text{ kg/m}^2$

Factor de forma (Superficie poco rugosa) : $c = 0,7$

Factor de esbeltez: $h' / d = 34 / 3,1 = 10,97$; $k = 1,255$

Presión dinámica del viento: $w' = w \times c \times k = 87,85 \text{ kg/m}^2$

2. Peso propio de la chimenea

$$P = (Re_i^2 - Ri_i^2) \times \pi \times h \times q$$

$$P_1 = (0,85^2 - 0,70^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 8.940,36 \text{ kg}$$

$$P_2 = (1,00^2 - 0,775^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 15.357,24 \text{ kg}$$

$$P_3 = (1,15^2 - 0,85^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 23.071,91 \text{ kg}$$

$$P_4 = (1,325^2 - 0,95^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 32.805,37 \text{ kg}$$

$$P_5 = (1,50^2 - 1,05^2) \times 3,1416 \times 6,8 \times 1.800 = 44.125,03 \text{ kg}$$

$$P = 124.299,91 \text{ kg}$$

3. Acción del viento

$$H = w' \times h \times d$$

$$H_1 = 87,85 \times 6,8 \times 1,70 = 1.015,54 \text{ kg}$$

$$H_2 = 87,85 \times 6,8 \times 2,00 = 1.194,76 \text{ kg}$$

$$H_3 = 87,85 \times 6,8 \times 2,30 = 1.373,97 \text{ kg}$$

$$H_4 = 87,85 \times 6,8 \times 2,65 = 1.583,06 \text{ kg}$$

$$H_5 = 87,85 \times 6,8 \times 3,00 = 1.792,14 \text{ kg}$$

$$H = 6.959,47 \text{ kg}$$

4. Radio del núcleo central de la sección de la base del tubo

$$a = (Re_i^2 + Ri_i^2) / 4 \times Re$$

$$a = (1,55^2 + 1,10^2) / 4 \times 1,55 = 0,58 \text{ m}$$

Leyenda

Re_i = Radio exterior de cada tramo en que se divide el tubo

Ri_i = Radio interior de cada tramo en que se divide el tubo

h' = Altura total del tubo

h_i = Altura de cada tramo en que se divide

d = Diámetro exterior de la base del tubo

P = Peso propio total de la chimenea

P_i = Peso propio de cada tramo de altura h

H = Acción del viento sobre el total de la chimenea

H_i = Acción del viento sobre cada tramo de altura h de la chimenea

a = Radio del núcleo central de la sección de la base del tubo

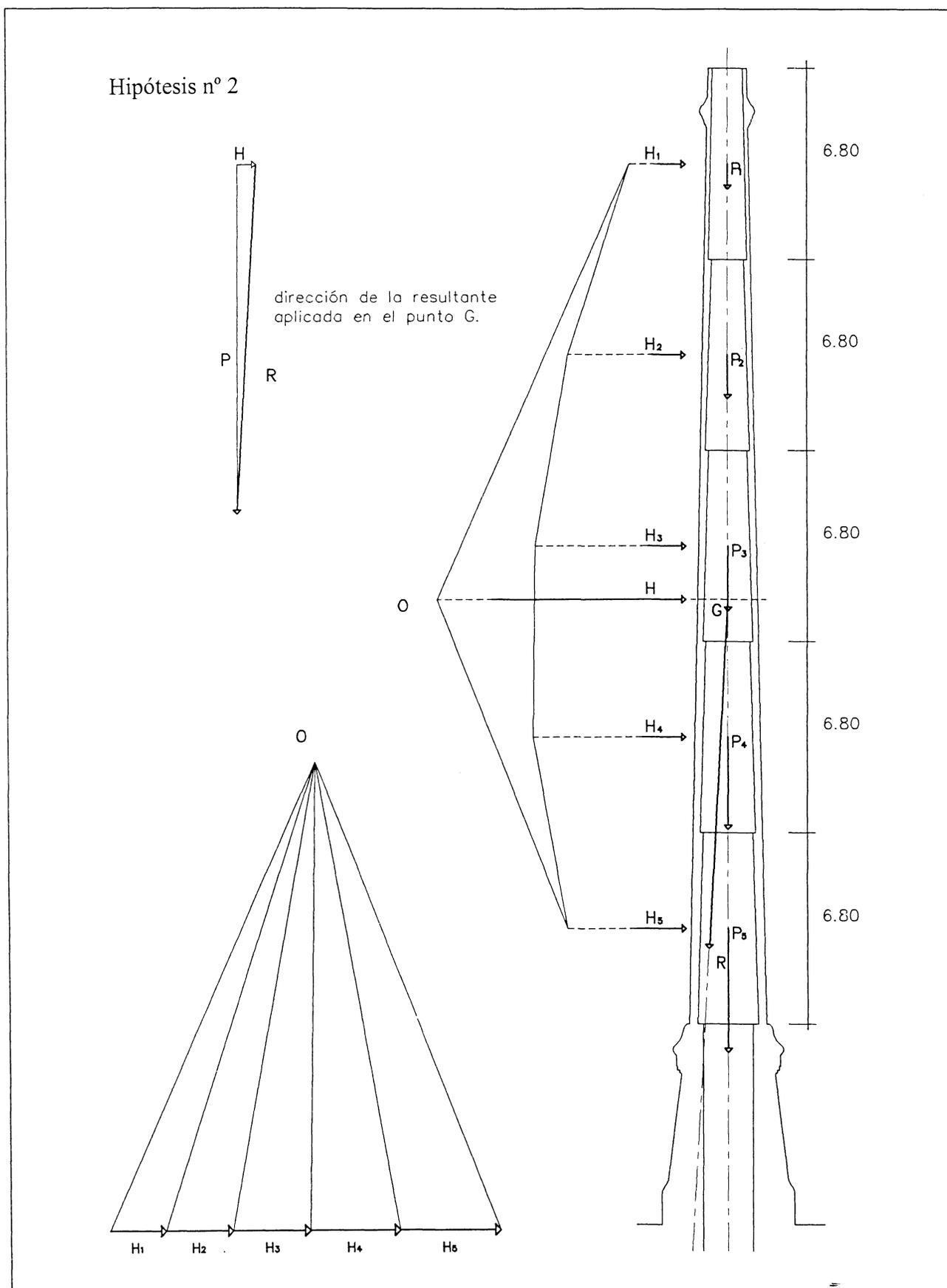


Figura 4.- Comprobación de la estabilidad de la chimenea del antiguo Vapor Aymerich, Amat i Jover. Hipótesis nº 2: consideración de las acciones establecidas por la Norma NBE-AE/88.

→ ACTUACIONES			<ul style="list-style-type: none"> • RELLENOS INTERIORES AURORRESISTENTES • ALMAS METÁLICAS • FORROS INTERIORES 	<ul style="list-style-type: none"> • REDUCTORES DE ESBELTEZ • APUNTALAMIENTOS PERMANENTES 	<ul style="list-style-type: none"> • RECALCES
↓ PATOLOGÍAS	<ul style="list-style-type: none"> • APLICACIÓN DE SELLADORES CON FUNCIÓN ADHERENTE 	<ul style="list-style-type: none"> • ZUNCHADOS 			
<ul style="list-style-type: none"> • INCLINACIÓN DEBIDA A LA SULFATACIÓN DE LAS JUNTAS O A OTRAS CAUSAS 	---	Solución no adecuada	Se requiere realizar análisis químico para averiguar el grado de alteración química de la fábrica y la necesidad de sustitución de la zona superior del tubo más afectada	Solución no siempre adecuada. Se requiere realizar previamente el análisis químico del material para verificar la zona afectada	---
<ul style="list-style-type: none"> • FISURAS VERTICALES POR DILATACIÓN DE ORIGEN TÉRMICO 	De aplicación en chimeneas fuera de uso. En función del grado de afectación de la fábrica, será preciso adoptar un refuerzo suplementario.	Solución adecuada. Ha sido la más aplicada históricamente.	Solución adecuada. Recomendable cuando el grado de deterioro es avanzado.	Solución adecuada. Recomendable cuando el grado de deterioro es avanzado.	---
<ul style="list-style-type: none"> • COMPRESIÓN • FLEXO-COMPRESIÓN 	Pueden ser de aplicación. Es preciso haber evaluado las características resistentes de la fábrica.	Solución adecuada cuando solo hay fisuras de compresión y los efectos de la flexo-compresión son absorbibles por la fábrica.	Solución adecuada. Recomendable cuando el grado de deterioro es avanzado.	Solución adecuada. Recomendable cuando el grado de deterioro es avanzado.	---
<ul style="list-style-type: none"> • ASENTAMIENTO DIFERENCIAL 	Pueden ser de aplicación para el sellado de las fisuras, previa eliminación de la causa del asentamiento.	Solución no adecuada	Solución posible cuando el asentamiento no es progresivo	Solución posible cuando el asentamiento no es progresivo	La única solución adecuada cuando el asentamiento es progresivo

Figura 5.- Sinóptica de actuaciones tipo de reparación en chimeneas industriales de ladrillo cerámico.

. Las fisuras de origen térmico, presentes en un alto porcentaje de chimeneas, tienden a redistribuir las cargas verticales de forma tal que desaparece su supuesta distribución inicial homogénea en las secciones inferiores del tubo y de la base, lo cual puede producir en dichas zonas efectos de concentración de tensiones y el consiguiente descentramiento progresivo de la resultante. Es evidente que este modelo de comportamiento se rectifica cuando se recurre al zunchado de los tubos en las zonas fisuradas, ya que con esta operación se restituyen, en gran parte, las características de continuidad resistente iniciales.

. Un proceso similar al anterior es el que se deriva de la inclinación de las chimeneas, el cual puede sumar sus efectos al de las fisuras ya descrito. En este caso, cabe considerar la incidencia del desplome sobre el descenso de las cargas y sobre las condiciones de equilibrio del conjunto de la chimenea.

. La sulfatación de las juntas de mortero -causa precisamente de muchas de las situaciones de inclinación antes comentadas- es otro de los factores a considerar, al minorar las condiciones iniciales de adherencia con la cerámica y reducir, en consecuencia, la resistencia a los esfuerzos de tracción a que puede verse sometida la chimenea. Es posible, además, que como efecto del proceso

de sulfatación, se acabe produciendo la alteración de las características mecánicas del propio mortero.

Es en base a la evaluación de cada uno de estos factores y de su factible confluencia que es posible llegar a establecer la diagnosis sobre el estado de cada chimenea en concreto.

Sinóptica de las actuaciones tipo de reparación

Con el fin de facilitar una casuística que permita relacionar los daños que de manera más frecuente presentan las chimeneas con las posibles prevenciones e intervenciones a llevar a cabo en cada caso, se ha confeccionado el cuadro de la Figura 5, en el cual se agrupan las causas que generan los daños y las subsiguientes actuaciones de reparación a emprender, comentando brevemente las opciones citadas. Algunas de dichas opciones se pueden visualizar en las Fotos 11, 12 y 13, en donde se muestran soluciones de anillados o zunchados metálicos, de frecuente aplicación en chimeneas afectadas por fisuras debidas a la expansión térmica del tubo y también en las Fotos 12 y 13, donde se incluye un caso de sustitución de la zona superior de la obra de fábrica de la chimenea, siempre más susceptible a sufrir las consecuencias de la sulfatación de las juntas de mortero y los efectos destructivos de los rayos.



Foto 11.- Ejemplo de refuerzo con cercos metálicos de chimeneas afectadas por la expansión radial de la fábrica (Barcelona).

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Foto 12.- Chimenea reforzada con cercos metálicos y con la zona del remate superior completamente reconstruida, en uno de los pabellones del edificio de la Maternidad de Barcelona.
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>



Foto 13.- Detalle del remate reconstruido con obra de fábrica de ladrillo de la chimenea de la Maternidad de Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] THÉORIE SUR LA STABILITÉ DES HAUTES CHEMINÉES EN MAÇONNERIE, *A. Gouilly, J. Dejeu & Cia* Imprimeurs-éditeurs, París, 1876 (pp. 36 y 1 lámina).
- [2] TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES, *Emile Bourry, Gauthier-Villars et fil*, Imprimeurs-libraires, París, 1887 (pp. 345-381).
- [3] LA CÉRAMIQUE DU BÂTIMENT, *Léon Lefèbre*, Bureau de "La Céramique", París, 1897 (pp. 195-225).
- [4] MANUAL DEL ARQUITECTO Y DEL CONSTRUCTOR, *Louis A. Harding*, (pp. 1738-1753, Cap. "Chimeneas")
- [5] MECÁNICA DE LA CONSTRUCCIÓN, *Ramón Termens*, E.T. de A. Ortega, Barcelona, 1932, (pp. 330-332).
- [6] ESTÁTICA APLICADA, *R. Saliger*, Ed. Labor, Barcelona, 1968 (pp. 192-199).
- [7] LA HUMEDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, *R. T. Gratwick*, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1971 (pp. 243-250).
- [8] FALLAS TÉCNICAS EN LA CONSTRUCCIÓN, *Jacob Feld*, Ed. Limusa, México, 1978 (pp. 230-231).
- [9] PRACTICAL BUILDING CONSERVATION, *John Ashurst & Nicola Ashurst*, Gower Technical Press, 1988 (pp. 46-85, vol. 2).

- [10] GOING UP IN SMOKE. THE HISTORY OF THE INDUSTRIAL CHIMNEY. *James Douet*, The Victorian Society
- [11] ESTUDI DE LES PATOLOGIES DE LES XEMENEIES INDUSTRIALS DE FÀBRICA DE MAÓ, *Cèsar Díaz Gómez*, Servei del Patrimoni Local de la Diputació Provincial de Barcelona, 1991 (inédito)
- [12] ORIGEN I EVOLUCIÓ DE LES TIPOLOGIES EDIFICATÒRIES I DE LES CARACTERÍSTIQUES CONSTRUCTIVES DELS EDIFICIS DE LA INDÚSTRIA TÈXTIL A CATALUNYA (PERIODE 1818-1925), *Ramon Gumà Esteve*, Universitat Politècnica de Catalunya, 1996 (inédito)

(1)

NOTAS:

- (2) "Así, la fábrica barcelonesa de Bonaplata, Vilaregut, Rull i Cía, construida entre 1832 y 1835, fue la primera en instalar la máquina de vapor perfeccionada por Watt" (trad. del catalán). Pág. 29 del libro de *J. Corredor Matheos y Josep M^a Montaner*, ARQUITECTURA INDUSTRIAL A CATALUNYA, DEL 1732 AL 1928, Caixa de Barcelona, 1984, editado por Creaciones Gráficas, S.A.

- (3) A inicios del siglo XX empezó a utilizarse la energía eléctrica en muchos establecimientos fabriles, pero este paso del vapor a la electricidad fue interrumpido durante la guerra civil española. En el período de postguerra, a causa de las carencias energéticas, volvió a utilizarse el vapor hasta mediados de los años cincuenta.

"La construcción en Sabadell de las estaciones transformadoras de corriente de alta tensión en las carreteras de Rubí, de Terrassa y de Prats de Lluçanès marca la entrada en una nueva era energética desde 1912. Además, el estallido de la I Guerra Mundial encareció enormemente el carbón y dificultó la adquisición de carbón de calidad, mientras que en los mismos años se reducía el precio de la electricidad. La electrificación de las fábricas fue contundente y las calderas de vapor se dejaron sólo para el servicio de calefacción" (trad. del catalán). *Josep M^a Benaul i Berenguer*. El Vapor a Sabadell. Museu d'Història de Sabadell. Sabadell, 1994.

- (4) En la bibliografía de este mismo artículo se citan los libros que contienen información sobre el tema.
- (5) *Domingo Carreras*. "Procés de construcció d'una xemeneia (1947)". Comunicación presentada a las "I Jornadas sobre Chimeneas Industriales", organizada por el Museu de la Ciència y de la Tècnica de Catalunya los días 8 y 9 de mayo de 1997.
- (6) Esta circunstancia no es generalizable al conjunto de España. Sirva como ejemplo el hecho de que en Jaén y en Ciudad Real hay muchísimas chimeneas en edificios destinados a almazaras que datan de principios del siglo actual y, más concretamente, en La Mancha, también las hay en alcoholeras y harineras, si bien en estas últimas, el vapor fue sustituido muy pronto
- <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

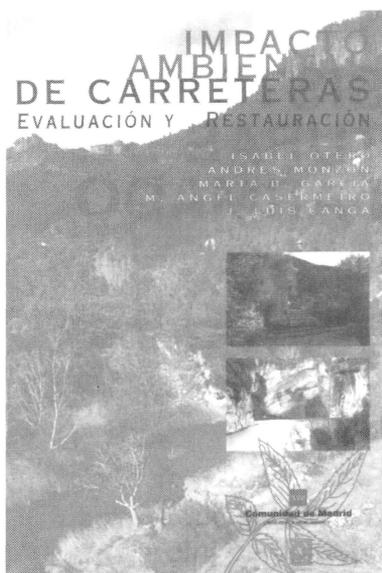
por energía eléctrica. La tesis elaborada por *Francisco Ayuga*, que lleva por título *EVOLUCIÓN DE LA EDIFICACIÓN AGRARIA EN CASTILLA-LA MANCHA: MATERIALES, DISEÑO Y TIPOLOGÍA*", Universidad Politécnica de Madrid (1986), de donde están extraídos los datos citados, se refiere ampliamente a este tipo de edificios.

- (7) No es frecuente el uso de esta tipología, siendo más utilizada en bóvilas que en instalaciones industriales destinadas a otros usos. Hallamos ejemplos de este tipo de chimeneas en la bóvila Goyta y en la Ladrillera Española de Hospitalet de Llobregat, y en la bóvila situada en la carretera de Sant Vicenç de Castellet a Pont de Vilumara que se incluye en la Figura 2.
- (8) Se incluyen en la Figura 2 una chimenea de la fábrica de la Colonia Sedó en el municipio de Esparreguera (21 metros de altura) y una del edificio de La Fassina de Sant Quintí de Mediona (de altura inferior a 20 metros). Fuera de Cataluña pueden hallarse también algunas chimeneas de gran altura de este tipo, como, por ejemplo, en Tomelloso, perteneciente a una alcoholaria de principios de siglo. (*Francisco Ayuga*, op. cit. Nota 6)
- (9) La chimenea del Vapor Aymerich, Amat y Jover está situada en la Rambla d'Egara, 270 de Terrassa. Formaba parte de una industria textil construida en el año 1907. La chimenea de Can

Ganeta está situada en la esquina de las calles del Jardí y Esbarjo, en Vilanova y la Geltrú. También formaba parte de una fábrica textil y, concretamente, la chimenea se construyó aproximadamente en el año 1880.

***César Díaz Gómez** es Dr. Arquitecto y profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña). Es autor de diversos trabajos de análisis del estado y el mantenimiento de edificios patrimoniales y de estudios sobre la patología de elementos constructivos. Actualmente es coordinador de la Línea de Investigación "Intervención en el Patrimonio Construido" del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ha dirigido diversas tesis doctorales sobre tipologías edificatorias y el patrimonio industrial.

****Ramon Gumà Esteve** es Dr. Arquitecto y profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña). Es autor de una tesis doctoral basada en el estudio tipológico y constructivo de los edificios de la industria textil del siglo XIX en Cataluña. Es autor y coautor de diferentes trabajos sobre aspectos relacionados con las edificaciones industriales de los siglos XVIII y XIX



**IMPACTO AMBIENTAL DE
CARRETERAS**
Evaluación y Restauración

COORDINADORA: Isabel Otero Pastor

AUTORES: Andrés Monzón de Cáceres
Marta B. García García
M. Ángel Casermeiro
J. Luis Canga Cabañes

EDITA: COMUNIDAD DE MADRID
Consejería de Medio Ambiente
Madrid, 1999
333 págs. + 25 planos, 27 x 18 cm

Recientemente se ha publicado el libro **IMPACTO AMBIENTAL DE CARRETERAS. Evaluación y Restauración** que se centra en las repercusiones ambientales de las carreteras sobre el medio que las sustenta. Se encuentra estructurado en diferentes capítulos en los que se abordan diversos aspectos de esta problemática ambiental. Destaca la exhaustiva recopilación de los conceptos, criterios y métodos de evaluación de los impactos ambientales; así como de los principales tipos de medidas correctoras. Asimismo y como novedad se incluye un pliego de prescripciones tipo de los anteproyectos de restauración paisajística ambiental. Pero, sin duda, el aspecto más interesante de este libro es la inclusión de numerosos casos prácticos que ponen en evidencia la importancia de la evaluación de los impactos ambientales y la internalización de los resultados de la evaluación en la fase de diseño de la carretera como mejor herramienta para prevenir los impactos ambientales. Por todo ello, se trata de un libro de referencia para todos aquellos proyectistas y ambientalistas interesados en este tema.