



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**Catalogación y análisis de chimeneas
industriales de fábrica de ladrillo en las
comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-
Pisueña y Campoo.**

**Estudio del comportamiento estructural
de un caso concreto.**

Trabajo realizado por:

Antonio Noriega Arena

Dirigido:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Mención en Construcciones Civiles

Santander, Septiembre de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas e Instituciones que contribuyeron, cada uno con su valioso aporte, en el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar me gustaría agradecer a mi Director, Ignacio Lombillo, por ofrecerme la oportunidad de aprender realizando un Trabajo sobre unas construcciones escasamente documentadas. Gracias por su aportación, interés y trabajo de dirección.

Seguidamente, agradecer a Javier Sánchez Espeso, profesor de Topografía y Geodesia de la Escuela, y al departamento de Ingeniería Cartográfica y Técnicas de Expresión Gráfica, por el préstamo de equipos sin los cuales no hubiera sido posible la realización del trabajo.

Gracias a Roberto y a José Pizarro, y en general a la Asociación Reto por permitirme visitar su fábrica en Villaverde de Pontones.

A su vez agradecer a Ignacio Torre y a Nestlé por facilitarme la visita a la factoría en La Penilla.

Gracias a Gerdau, y especialmente a Marta Jorrín por permitirnos la visita a las instalaciones de una fábrica de semejante importancia. Agradecimientos a nuestro guía durante la visita, que tan valiosa información me proporcionó.

Asimismo, gracias a Luis por permitirnos la entrada a su finca en La Cavada.

Gratitud especial a todos mis compañeros de viaje, gracias por su paciencia, comprensión y ayuda.

Dar también las gracias a todas aquellas personas cuyo nombre no conozco, de la Administración Pública que se interesaron por ayudarme en la localización de las chimeneas. Gracias de manera especial a los vecinos del Barrio de la Tejera en Sarón y de Arroyo por su ayuda y relevante información.

Gracias a Juan Patricio por su introducción a la modelación mediante Elementos Finitos.

Agradecimiento a todas aquellas personas que no he nombrado y que también han contribuido al desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.

Por último, gracias a mi familia, amigos y demás conocidos.

¡Gracias a todos!

RESUMEN

Título: Catalogación y análisis de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo. Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

Mención: Construcciones Civiles.

Autor: Antonio Noriega Arena

Director: Ignacio Lombillo Vozmediano

Convocatoria: Septiembre 2016.

Palabras clave: chimenea, fábrica, ladrillo, catalogación, procesos patológicos, comportamiento estructural

Bibliografía:

Debido a la extensión de la bibliografía, se adjunta la más relevante.

Alonso Ruíz, María Esther "Catalogación y metodología de rehabilitación de ingenios hidráulicos en el río Ebro a su paso por Cantabria" Trabajo de Fin de Grado. Junio 2014

De las Rivas y López, M. (1905). Chimeneas de fábrica, Teoría, Cálculo de sus dimensiones, Estabilidad, Construcción. Revista "Memorial de Ingenieros del Ejército". Cuarta época- tomo XXII, pp. 251-378.

Díaz, C., Gumà, R. (1999). Patología, diagnóstico y recuperación de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo cerámico. Informes de la Construcción, Vol. 51 n° 464, pp. 23-39.

Lombillo Vozmediano, Ignacio (2010) "Investigación teórico-experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido" Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria. Mayo 2010

Lombillo I., Boffill Y., Cueli J., Villegas L., Blanco H., Carrasco C., Vega F. (2016). Preliminary studies on materials and structural behaviour of a early 20th-century brickwork chimney. Xii international conference on structural repair and rehabilitation, cinpar 2016. Oporto (portugal). 26-29 octubre 2016.

Lombillo I. (2016a). Apuntes didácticos. G1183 - Patología y Rehabilitación de la Edificación

Masciotta M.G., Ramos L.F., Lourenço P.B., Vasta M. 2014 "Structural Monitoring and Damage Identification on a Masonry Chimney by a Spectral-based Identification Technique" Julio 2014

patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com 2016 " patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com/"
Fecha de consulta: Abril 2016

pindio.es " www.pindio.es" Fecha de consulta: Abril 2016

Ruíz Gómez, Fernando (2011). Una industria en ruinas: arqueología industrial en Campoo. Casa de Cultura "Sánchez Díaz"

Sierra Álvarez, José. El complejo vidriero de Campoo (Cantabria), 1844-1928: una aportación a la historia de la industria española del vidrio. Universidad de Cantabria

CTE - Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural

EHE 08 - Instrucción de Hormigón Estructural. Capítulo 3: Acciones

Eurocódigo 6

Resumen:

Las chimeneas de fábrica de ladrillo tuvieron gran importancia en el desarrollo industrial a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Eran las encargadas de expulsar los gases de combustión lejos de la población, a la vez que aspiraban del hogar la cantidad de aire necesaria para la combustión. No obstante, la necesidad de chimeneas más potentes y resistentes, la evolución de procesos industriales o el abandono de las fábricas derivaron en el desuso y el olvido de las chimeneas. Además, con el agravante de falta de uso funcional, no existe un interés general en la preservación de este tipo de patrimonio construido.

Por ello, con este Trabajo de Fin de Grado se pretende realizar una catalogación de las chimeneas en las regiones de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo. A su vez, se pretende analizar los procesos patológicos más importantes presentes. Para lograrlo, se han localizado las chimeneas existentes en la región de estudio y se ha procedido a la visita in situ de cada una de ellas, con el fin de obtener los parámetros geométricos, tipologías constructivas y procesos patológicos principales.

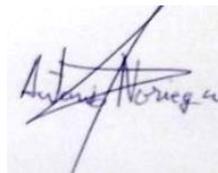
Seguidamente, se han analizado los datos obtenidos de manera general, y se han obtenido una serie de conclusiones sobre el estado de conservación de las chimeneas. También se han propuesto una serie de técnicas terapéuticas de aplicación general.

Además, se ha escogido una chimenea y se han realizado unos ensayos ligeramente destructivos, basados en la técnica de los gatos planos. Se han obtenido las características mecánicas de la fábrica y se ha construido un modelo de elementos finitos. Se han comparado los resultados obtenidos con el modelo y con los ensayos in situ y se observado el comportamiento estructural de la chimenea ante cargas hipotéticas.

Finalmente, se han obtenido una serie de conclusiones y se han establecido unos posibles trabajos futuros y vías de investigación.

Santander, Septiembre 2016

El autor del trabajo



Antonio Noriega Arena

ABSTRACT

Title: Cataloging and analysis of industrial brickwork chimneys in the regions of Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña and Campoo. Study the structural behavior of a particular case.

Major: Construcciones Civiles.

Author: Antonio Noriega Arena

Director: Ignacio Lombillo Vozmediano

Call: Septiembre 2016.

Key words: brickwork chimney, cataloging, pathological processes, structural behavior

Bibliography:

Due to the length of bibliography references, the most relevant has been attached.

Alonso Ruíz, María Esther "Catalogación y metodología de rehabilitación de ingenios hidráulicos en el río Ebro a su paso por Cantabria" Trabajo de Fin de Grado. Junio 2014

De las Rivas y López, M. (1905). Chimeneas de fábrica, Teoría, Cálculo de sus dimensiones, Estabilidad, Construcción. Revista "Memorial de Ingenieros del Ejército". Cuarta época- tomo XXII, pp. 251-378.

Díaz, C., Gumà, R. (1999). Patología, diagnóstico y recuperación de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo cerámico. Informes de la Construcción, Vol. 51 n° 464, pp. 23-39.

Lombillo Vozmediano, Ignacio (2010) "Investigación teórico-experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido" Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria. Mayo 2010

Lombillo I., Boffill Y., Cueli J., Villegas L., Blanco H., Carrasco C., Vega F. (2016). Preliminary studies on materials and structural behaviour of a early 20th-century brickwork chimney. Xii international conference on structural repair and rehabilitation, cinpar 2016. Oporto (portugal). 26-29 octubre 2016.

Lombillo I. (2016a). Apuntes didácticos. G1183 - Patología y Rehabilitación de la Edificación

Masciotta M.G., Ramos L.F., Lourenço P.B., Vasta M. 2014 "Structural Monitoring and Damage Identification on a Masonry Chimney by a Spectral-based Identification Technique" Julio 2014

patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com 2016 " patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com/"
Fecha de consulta: Abril 2016

pindio.es " www.pindio.es" Fecha de consulta: Abril 2016

Ruíz Gómez, Fernando (2011). Una industria en ruinas: arqueología industrial en Campoo. Casa de Cultura "Sánchez Díaz"

Sierra Álvarez, José. El complejo vidriero de Campoo (Cantabria), 1844-1928: una aportación a la historia de la industria española del vidrio. Universidad de Cantabria

CTE - Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural

EHE 08 - Instrucción de Hormigón Estructural. Capítulo 3: Acciones

Eurocódigo 6

Abstract:

The brickwork masonry chimneys had great relevance in industrial development from the second half of the nineteenth century. They were responsible for expelling the combustion gases away from the population, while aspiring the air quantity necessary for combustion. However, the need for more powerful and resistant chimneys, the evolution of industrial processes or abandonment of factories led to the disuse and the neglect of chimneys. In addition, with the aggravating circumstance of lack of functional use, there is no general interest in preserving this kind of built heritage.

Therefore, the aim of this Final Degree Work is to make a catalog of the chimneys in the regions of Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña and Campoo. In turn, it aims to analyze the most important pathological processes presented. To achieve this, the existing chimneys in the region of study have been located and I proceeded to visit each one, in order to obtain the geometrical parameters, constructive typologies and major pathological processes.

Next, I analyzed the data, and conclusions about the condition of conservation of the chimneys were stated. A number of therapeutic techniques of general application have been proposed.

In addition, a chimney was chosen to perform some Minor Destructive Test, based on the technique of flat jacks. The mechanical characteristics of the masonry were obtained and a finite element model was built. We compared the results obtained with the model and the in situ testing and the structural behavior of the chimney to hypothetical loads were observed.

Finally, a number of conclusions have been established and I have proposed some possible future ways of research and investigation.

Santander, September 2016

The author of the work



Antonio Noriega Arena

INDICE GENERAL

1	<u>INTRODUCCIÓN, METODOLOGÍA, OBJETIVOS Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO</u>	1
1.1	INTRODUCCIÓN Y NECESIDAD	1
1.2	METODOLOGÍA Y OBJETIVOS.....	1
1.3	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	2
2	<u>ESTADO DEL ARTE</u>	4
2.1	INTRODUCCIÓN	4
2.2	ESTUDIO TEÓRICO DE LAS CHIMENEAS.....	5
2.2.1	CAUSA DEL MOVIMIENTO DE LOS GASES EN LAS CHIMENEAS.....	5
2.2.2	TIRO DE LA CHIMENEA	5
2.2.3	TEORÍA DEL TIRO.....	5
2.2.4	INFLUENCIA DE LAS CIRCUNSTANCIAS ATMOSFÉRICAS SOBRE EL TIRO DE LAS CHIMENEAS	8
2.2.5	VELOCIDAD EFECTIVA DE ESCAPE DE LOS GASES	8
2.3	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL CONDUCTO INTERIOR DE UNA CHIMENEA.....	8
2.3.1	ALTURA DE LAS CHIMENEAS.....	8
2.3.2	SECCIÓN DE LAS CHIMENEAS	10
2.4	ESTABILIDAD Y RESISTENCIA	14
2.4.1	CIMENTACIONES.....	14
2.4.2	ACCIONES ACTUANTES SOBRE LA CHIMENEA	17
2.4.3	PRIMER PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	18
2.4.4	SEGUNDO PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	20
2.5	PRINCIPIOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN	20
2.5.1	PEDESTAL.....	20
2.5.2	FUSTE	21
2.5.3	CORONAMIENTO.....	21
2.5.4	MATERIALES	22
2.6	MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN.....	25
2.7	EJEMPLO PRÁCTICO DE MONITORIZACIÓN ESTRUCTURAL Y EVALUACIÓN DE DAÑO.....	27
2.7.1	CASO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA	28
2.7.2	ANÁLISIS MODAL OPERACIONAL.....	28
3	<u>LOCALIZACIÓN DE LAS CHIMENEAS Y PREPARACIÓN DE LAS VISITAS</u>	32
3.1	SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CONSTRUCCIONES ESTUDIADAS	32
3.2	METODOLOGÍA EMPLEADA EN LAS VISITAS	35
4	<u>ANÁLISIS DE LAS CONSTRUCCIONES VISITADAS</u>	38
4.1	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y CONSTRUCTIVAS.....	38
4.1.1	ANÁLISIS DE DATOS	38
4.1.2	VALORACIÓN DE DATOS	40
4.2	DEFECTOS POR ACCIONES MECÁNICAS Y SUPERFICIALES	41
4.2.1	LESIONES TÍPICAS DE LAS CHIMENEAS DE LADRILLO	41
4.2.2	ANÁLISIS DE DATOS	43

4.2.3	VALORACIÓN DE DATOS	47
4.3	TERAPÉUTICA APLICABLE DE CARÁCTER GENERAL.....	48
5	<u>CASO DE ESTUDIO: CHIMENEA DE ECORETO EN VILLAVERDE DE PONTONES.....</u>	51
5.1	GENERALIDADES.....	51
5.2	CAMPAÑA EXPERIMENTAL	53
5.2.1	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES FORMES DE LA FÁBRICA	53
5.2.1.1	Morteros.....	53
5.2.1.2	Ladrillos.....	55
5.2.2	SONDEO.....	57
5.2.3	ENSAYOS LIGERAMENTE DESTRUCTIVOS PRACTICADOS. TÉCNICA DE LOS GATOS PLANOS.	58
5.2.3.1	Bases teóricas.....	58
5.2.3.2	Estimación del nivel tensional en la base de la chimenea. Gato plano simple	62
5.2.3.3	Caracterización mecánica de la fábrica. Gato plano doble.....	62
5.2.4	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN DE LA FÁBRICA.....	63
5.2.4.1	Eurocode 6. Proyecto de estructuras de fábrica	63
5.2.4.2	Norma Básica de la Edificación NBE-FL90 “Muros resistentes de fábrica de ladrillo”	64
5.2.4.3	British Standard BS5628: Part1: 1978. Code of practice for Structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry	64
5.2.4.4	p.i.e.t. 70.....	65
5.2.4.5	Formula de Ohler	66
5.2.4.6	Resumen	67
5.3	MODELACIÓN DE LA CHIMENEA POR ELEMENTOS FINITOS.....	67
5.3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA UTILIZADO	67
5.3.2	PARÁMETROS DE ENTRADA AL MODELO	68
5.3.3	CARGAS Y COMBINACIONES	69
5.3.4	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	76
5.3.5	RESULTADOS.....	78
5.3.6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	85
6	<u>CONCLUSIONES.....</u>	87
6.1	CONCLUSIONES DE CARÁCTER GENERAL	87
6.2	TRABAJOS FUTUROS	87
7	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	88
7.1	PUBLICACIONES	88
7.2	NORMATIVA TÉCNICA.....	89
7.3	SOFTWARE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	89
ANEJO 1: Ficha de toma de datos		
ANEJO 2: Hoja de toma de datos. Estación total		
ANEJO 3: Fichas de toma de datos de las chimeneas visitadas		

1 INTRODUCCIÓN, METODOLOGÍA, OBJETIVOS Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

1.1 Introducción y necesidad

La conservación del patrimonio histórico está considerado como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. Cada vez es más habitual la realización de extensas investigaciones en torno a esta área, conduciendo a desarrollos en la inspección, ensayos no destructivos, monitorización y análisis estructural de construcciones históricas (Lombillo 2010).

Tradicionalmente se ha prestado atención a construcciones civiles de carácter social y religioso; iglesias, monasterios, etc.; mientras que el patrimonio histórico industrial ha quedado en un segundo plano. Este es el caso de las chimeneas de fábrica de ladrillo, que tuvieron su máxima importancia a raíz del uso de calderas de carbón y tenían el objetivo de conducir los humos y gases originados en la combustión del combustible fósil a la atmósfera y a una altura tal que no perjudicara a la población.

Las chimeneas fueron utilizadas en industrias de producciones muy distintas: vidrieras, lecherías, curtidos, tejas, alimentación, metalurgia, etc. (Antuñas 2016). No obstante, debido a la pérdida de rentabilidad o la necesidad de adaptarse a unos procesos más potentes, estas chimeneas cayeron en desuso. Algunas fueron destruidas, principalmente en núcleos urbanos y fábricas con escasez de espacio, otras cayeron en el olvido, y unas pocas rehabilitadas y recordadas como es el caso de La Lechera Montañesa en Torrelavega y las chimeneas en el parque de La Cantábrica, en El Astillero (patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com 2016).

Las que fueron completamente abandonadas, sobretodo en zonas rurales, sufrieron un deterioro progresivo por las condiciones ambientales adversas a las que estaban sometidas, que en caso de haberse aplicado técnicas terapéuticas con anterioridad, podría haberse paliado algunos de los procesos patológicos actuantes.

Debida a la poca atención que estas construcciones han recibido, se cree necesario realizar una catalogación de las chimeneas existentes en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo en la comunidad autónoma de Cantabria. A su vez, debido a que la construcción de las chimeneas data del siglo XX (De las Rivas y López 1905), se considera el estudio del comportamiento estructural de una de las construcciones estudiadas.

1.2 Metodología y objetivos

La metodología empleada para la realización del Trabajo de Fin de Grado es una combinación de trabajo de campo en el que se tomaron fotografías, medidas y observaciones in situ de las construcciones objeto de estudio, junto a la labor de documentación y análisis de los procesos patológicos que afectaban a las chimeneas de fábrica de ladrillo (Alonso 2014).

Tomando como elemento de orientación los estudios de monitorización e identificación de defectos mecánicos realizados (Masciotta et al. 2014, Díaz y Gumà 1999), se ha establecido el marco de referencia para la realización del trabajo, que se puede dividir en dos vías.

En primer lugar, tras localizar las chimeneas de fábrica y la realización de la visita, se procedió a la clasificación y catalogación de las construcciones. Esta tarea constituye la base de la investigación para el análisis de los procesos patológicos más comunes observados y las técnicas terapéuticas aplicables a cada uno de ellos.

Paralelamente, se presentan los resultados de una serie de ensayos realizados sobre una chimenea de la misma tipología¹. Dichos ensayos ligeramente destructivos (MDT *Minor Destructive Test*) se basan en la técnica de los gatos planos para obtener la tensión vertical en la hoja exterior de la fábrica y los parámetros mecánicos, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, en el área de ensayo. A su vez, se construyó un macromodelo de Elementos Finitos con el fin de comparar los resultados de los ensayos in situ con los resultados obtenidos del modelo. Además, se pretende conocer el comportamiento de la chimenea frente a cargas hipotéticas, analizando en nivel de tensiones en la misma.

Por tanto, y a modo de resumen, los objetivos del presente Trabajo de Fin de Grado es documentar y catalogar las chimeneas de fábrica de ladrillo en el área de estudio, analizar las lesiones más habituales, a la vez que se estudia el comportamiento estructural de una de las construcciones.

Finalmente, este Trabajo tiene el objetivo adicional de servir de primera aproximación a la documentación y análisis de todas las chimeneas en Cantabria. Se pretende también, motivar el interés y atención del mantenimiento y conservación de estas construcciones como parte importante del patrimonio cultural, que se está perdiendo.

1.3 Organización del documento

Se realiza a continuación un breve recorrido de los apartados que consta el documento.

El **capítulo 2 "Estado del Arte"** tratará de realizar un recorrido histórico en cuanto al cálculo y construcción de las chimeneas en base a un manual que data de 1905 (De las Rivas y López 1905). Se explicarán las bases físicas y termodinámicas de funcionamiento, los criterios para la determinación de los parámetros geométricos más importantes, altura y diámetro interior del tubo. También se explicarán los métodos de cimentación y el método de identificación de las acciones externas en la chimenea. Además, se hará un repaso de los materiales empleados en la construcción, elementos constructivos y proceso constructivo general. Finalmente se presenta un caso de monitorización realizado en una chimenea dañada en Portugal (Masciotta et al. 2014).

El **capítulo 3 "Localización de las chimeneas y preparación de las visitas"** procederá a documentar la situación geográfica de las chimeneas y la metodología seguida para ello. Se describirá el proceso para realizar las visitas a las mismas, a la vez que se expondrán las bases para la determinación de parámetros geométricos determinantes para el estudio, como lo es la altura.

El **capítulo 4 "Análisis de las construcciones visitadas"** tratará de analizar y valorar la información recopilada en el trabajo de campo. Se presentarán los datos en forma de gráficos y tablas para su mejor comprensión y se hará una evaluación de los mismos. Finalmente, se propondrá una serie de técnicas terapéuticas para cada uno de los defectos patológicos.

El **capítulo 5 "Caso de estudio: Chimenea de Ecoreto en Villaverde de Pontones"** estará dividido en tres partes. Una primera en la que se describirá la chimenea y se expondrán sus generalidades. Una segunda en la que se describirá la campaña experimental referida, se explicarán los ensayos realizados in situ y en laboratorio y su fundamento teórico, y se calculará la resistencia característica de la fábrica. La tercera parte presentará el proceso de construcción del modelo de Elementos Finitos, las hipótesis consideradas y acciones exteriores actuantes en la estructura, los resultados del modelo, y la comparación de los resultados obtenidos in situ con aquellos arrojados del modelo, junto a una valoración de los mismos.

¹ Se tiene preparada en área de ensayos en la chimenea objeto de estudio (Chimenea de Ecoreto en Villaverde de pontones), si bien por razones de logística, ajenas al autor, los ensayos no se han podido realizar con anterioridad a la presentación del presente Trabajo Fin de Grado. Éstos se ejecutarán en el próximo otoño de 2016.

El **capítulo 6 "Conclusiones"** sintetiza las ideas fundamentales y relevantes de cada uno de los capítulos anteriores, a la vez que propone trabajos futuros a realizar y posibles vías de investigación en relación a las chimeneas de fábrica de ladrillo.

En el **capítulo 7 "Bibliografía"** se indican todas las fuentes consultadas a lo largo de realización del trabajo.

Finalmente, el **Anexo 1** y el **Anexo 2** recogen los modelos de fichas y hojas de toma de datos empleadas en las visitas a las chimeneas. El **Anexo 3** recoge la información obtenida de cada uno de las 12 construcciones que componen el estudio, en base a la ficha presentada en el *Anexo 1*.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

El debate relacionado con la conservación del patrimonio edificado obsoleto está muy activo en nuestros días. La reutilización del patrimonio industrial como contenedor de actividad es un problema. Afecta de forma especial a las factorías que, bien por su calidad desde un punto de vista constructivo, bien por su singularidad, merecen ser conservadas. Dichas fábricas, inicialmente localizadas en la periferia de las ciudades y, actualmente, una vez desactivada su actividad fabril y con sus construcciones en un estado de abandono, han sido absorbidas por la trama urbana más consolidada fruto de las políticas de urbanismo expansivo adoptadas, y que han supuesto cambios importantes en la dinámica demográfica, edificatoria y en el aumento del suelo edificado auspiciado por los propios municipios, principalmente los limítrofes a las grandes ciudades o ejes de comunicación.

Las chimeneas, como parte de estas industrias, son fascinantes signos de la actividad humana en un pasado reciente. En contra de lo que puede ocurrir con las naves o contenedores de actividad industrial, estos “puntos de referencia” no pueden ser recuperados para un uso funcional, y la mayor parte de ellas son meramente un recuerdo del pasado, no obstante ha habido aportaciones en relación a su reutilización (Mattone et al. 1979). Pero su conservación tiene que enfrentarse a problemas complejos derivados de su habitual estado avanzado de deterioro fruto del abandono durante décadas. Muchas chimeneas han sido y están siendo continuamente demolidas o recortadas. Solamente en contadas excepciones se han tomado medidas para su refuerzo, aplicando en algunos casos técnicas de consolidación poco respetuosas con su concepción original, resultando en intervenciones demasiado invasivas y llamativas (Bosia et al. 2001).

No son muy abundantes los trabajos, monográficamente y desde la vertiente constructiva, en las chimeneas industriales construidas con ladrillo cerámico (De las Rivas y López 1905; Díaz y Gumà 1999). Las aportaciones existentes giran, principalmente, en torno a reflexiones de carácter general y sobre catalogaciones en zonas concretas.

Desde un punto de vista más tecnológico, existen investigaciones focalizadas, fundamentalmente en el estudio de su respuesta sísmica (Bru et al. 2016; Ghobarah y Baumber 1992; Pallarés et al. 2009; Pallarés et al. 2009a; Pallarés et al. 2006). No obstante, en la literatura técnica también pueden localizarse otros sobre aspectos más concretos.

Así, Pistone et al. (1997) presentaron un aporte interesante al comportamiento estructural de chimeneas antiguas (finales s.XIX- principios s. XX). Para ello, realizaron un análisis mediante modelado lineal con elementos finitos de tres chimeneas de las regiones italianas de Piedemonte y Veneto, considerando su peso propio, la acción eólica, sísmica y gradientes térmicos (de la cara soleada a la opuesta). El estudio permitió explicar alguno de los más serios daños detectados in situ en las chimeneas como la existencia de agrietamientos o la pérdida de verticalidad.

Por su parte, con el objetivo de determinar la diferencia de temperatura entre la cara expuesta al sol y la remanente a la sombra y valorar su afección en el comportamiento a flexión de la chimenea, Lechman (2000) reportó las medidas de temperatura de la superficie de varias chimeneas situadas en diferentes partes de Polonia bajo la exposición solar, obtenidas mediante termografía infrarroja.

Por tanto, el objetivo del presente capítulo es ofrecer una explicación del funcionamiento, cálculo y construcción de las chimeneas basado en un manual del año 1905 (De las Rivas y López 1905), así como la explicación breve, pero notablemente más detallada que los casos expuestos en esta introducción, de una monitorización llevada a cabo en una chimenea en Portugal.

2.2 Estudio teórico de las chimeneas

Una chimenea es un conducto vertical de dimensiones calculadas, cuya parte inferior, unida por una o varias galerías al hogar u hogares, recibe los productos gaseosos de la combustión, que son expulsados por la parte superior o boca.

Las chimeneas cumplen, en general, dos funciones: primera, arrojar a la atmósfera a grandes alturas el aire y gases de la combustión, envueltos en humo, que sería incómodo y hasta perjudicial que se desprendiesen a pequeñas alturas; segunda, aspirar del hogar el aire necesario para la combustión (De las Rivas y López 1905).

2.2.1 Causa del movimiento de los gases en las chimeneas

Los gases a elevada temperatura que, procedentes del hogar, llegan a la chimenea tienen una densidad menor que la del aire a la temperatura exterior; esta diferencia de densidades origina el desequilibrio entre las presiones de la columna de aire caliente interior y de la columna igual de aire exterior en la base de la chimenea. Sobre esta base actúa de un lado la presión atmosférica, que tiene lugar sobre el plano horizontal de la boca de la chimenea, más el peso de la columna de gases calientes de altura igual a la chimenea H , y por otro lado, actúa sobre esa misma base, la presión atmosférica anterior, a la que hay que añadir el peso de la columna exterior de aire frío de altura H . Es, por lo tanto, la diferencia de peso de estas dos columnas de la misma altura H la que produce un empuje de abajo hacia arriba, equivalente al volumen de aire desalojado por el aire caliente en el interior. La columna puesta en movimiento ascensional es sustituida por nuevos gases procedentes del hogar, aspirados por la ascensión de los anteriores, y repitiéndose sucesivamente estos fenómenos queda establecida la marcha de la corriente gaseosa, que es la que constituye el *tiro* de la chimenea.

2.2.2 Tiro de la chimenea

Se ve que las dos funciones que han de cumplir las chimeneas se obtienen a expensas del *tiro* conveniente para que queden asegurados ambos efectos. Con el nombre de *tiro* se expresa la aspiración del aire exterior, originada de la temperatura de los gases de combustión y de las dimensiones de la chimenea, o también el peso del aire que una chimenea es capaz de hacer pasar por segundo a través del hogar.

El primer punto que se ofrece al estudio del constructor en esta materia, es el de la determinación de las dimensiones de altura y sección transversal de una chimenea, para que el tiro quede asegurado, y para ello es preciso conocer previamente la teoría del tiro.

2.2.3 Teoría del tiro

Tratando de determinar el peso del aire que circula por segundo a través del conducto de la chimenea, se supondrá que se trata de una sección constante, en todo el conducto recorrido por los gases desde el hogar hasta su salida exterior y que se hace abstracción de las resistencias que dependen de la forma y dimensiones de aquél. Representamos en

H la altura de la chimenea

S la sección transversal interior

T la temperatura del aire en el interior de la chimenea

θ la temperatura del aire exterior

d la densidad de los gases evacuados, considerada igual a la del aire para una misma temperatura

V velocidad de los gases a la salida

α coeficiente de dilatación del aire con relación al agua

Según las leyes físicas de la dilatación, para todos los gases y vapores a presión constante, el coeficiente es el mismo que el del aire

$$\alpha = 0,00367 \text{ o } \frac{1}{273}$$

siendo además aplicables las fórmulas de dilatación cúbica de los sólidos.

La ley de Gay-Lussac acerca de la dilatación establece que, a presión constante, los volúmenes crecen con la temperatura y que el volumen Q_θ de un gas a θ grados de temperatura se obtiene del volumen Q_0 del mismo a 0° por la expresión

$$Q_\theta = Q_0(1 + \alpha \theta) \text{ de donde } Q_0 = \frac{Q_\theta}{1 + \alpha \theta}$$

Este volumen Q_θ siendo llevado de θ a t grados, viene a ser Q_t tal que

$$Q_t = Q_0(1 + \alpha t) = Q_\theta \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha \theta}$$

Ahora bien; hemos visto que el tiro o movimiento ascensional de los gases de la chimenea se verifica en virtud de la diferencia de presiones ejercidas por dos columnas de aire, una interior a la temperatura de t y otra exterior a θ° , ambas de igual altura H de la chimenea. Para obtener la velocidad de escape de los gases de la chimenea dada por la fórmula general

$$v = \sqrt{2 g h}$$

es necesario determinar h , que expresa la altura de una columna homogénea de gas que hará equilibrio al exceso de presiones. A través de un desarrollo en la teoría de la termodinámica es posible sustituir h por variables conocidas y que influyen en el diseño directo de la chimenea. De este modo obtenemos

$$v = \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

expresión en la que H está expresada en metros y la temperatura en grados centígrados.

Esta expresión nos enseña que la velocidad de salida de los gases es proporcional a la raíz cuadrada de la altura y de la temperatura interior. Supone esta fórmula, como se dejó apuntado que se trata de una sección constante en todo el conducto recorrido por los gases hasta su salida al exterior y que se ha hecho abstracción de las resistencias que dependen de la forma y dimensiones de los conductos.

Conocida la velocidad, en las hipótesis establecidas, se deduce fácilmente el valor del tiro de la chimenea o peso P de los gases evacuados por segundo por el orificio superior de la chimenea.

En efecto, sabemos que los volúmenes son inversamente proporcionales a las densidades y así

$$\frac{d_0}{d_t} = \frac{Q_t}{Q_0} = \frac{Q_0(1 + \alpha t)}{Q_0}$$

de donde

$$d_t = \frac{d_0}{1 + \alpha t}$$

Designando por P el peso de los gases evacuados por segundo,

$$P = Q_t \cdot d_t$$

por otra parte

$$Q_t = v \cdot S$$

y por consiguiente

$$P = v \cdot S \cdot d_t$$

Sustituyendo en esta expresión por v y d_t sus valores hallados antes tendremos

$$P = S \cdot \frac{d_0}{1 + \alpha t} \cdot \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

De esta fórmula se deduce:

1º- El tiro es proporcional a la sección de la chimenea, de donde se infiere, teniendo en cuenta el rozamiento, que el gasto de una chimenea de sección doble que la de otra será más que doble del de la sección sencilla.

2º- El tiro crece sólo proporcionalmente a la raíz cuadrada de la altura, de modo que en igualdad de otras circunstancias, para doblar el tiro, bastando duplicar la sección, sería necesario cuadruplicar la altura; luego si se hace intervenir el rozamiento que aumenta con la altura se comprende que, pasado cierto límite, la altura de una chimenea no influirá sensiblemente en el tiro. La experiencia, por otra parte, enseña que el tiro no aumenta de un modo sensible con la altura, cuando ésta pasa de 35 metros. Las únicas consideraciones que pasado dicho límite deberán tenerse presentes para la determinación de la altura de una chimenea de fábrica, serán en primer lugar la elevación de los objetos próximos, construcciones, etc., que pudieran dominar la boca y ocasionar oleadas de viento que produjeran perturbaciones del tiro en caso de entrar en la chimenea; y en segundo término, consideraciones de conveniencia higiénica y hasta razones de estética, pero la cifra del tiro no deberá servir de base para dicha determinación.

3º- El tiro varía con la temperatura.

Interesa determinar la temperatura t que corresponde al máximo valor de gasto P a igualdad de sección y altura, cuyo máximo se obtendrá igualando a cero la derivada de la función que da la expresión teórica del tiro antes hallada. Si reescribimos la fórmula y prescindimos del factor constante e introduciendo la hipótesis admisible, que la temperatura del aire exterior representada en θ es cero, por cuanto su valor al lado del de t será siempre despreciable, habremos de igualar a cero de la derivada de $\frac{\sqrt{t}}{1 + \alpha t}$ que será:

$$\frac{(1 + \alpha t)^{\frac{1}{2}} - \alpha \sqrt{t}}{(1 + \alpha t)^2} = 0 \text{ de donde } (1 + \alpha t) \frac{1}{2\sqrt{t}} - \alpha \sqrt{t} = 0 \text{ y por sucesivas transformaciones}$$

$$t = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,00367} = 273^{\circ}$$

Resulta, por consiguiente, que para obtener el tiro perfecto o el máximo de potencia, deberán tener los gases en la chimenea al escapar a la atmósfera una temperatura que se aproxime a 273° , lo que equivale a decir que el exceso de la temperatura de los gases sobre la del ambiente debe ser igual a la cifra dicha. A mayor temperatura, para una misma chimenea el tiro puede resultar perturbado; la economía, por otra parte, aconseja no dejar escapar los gases a elevada temperatura para no desaprovechar en pura pérdida una cantidad de claro utilizable.

Este hecho está además comprobado prácticamente; se citan ejemplo de hogares metalúrgicos servidos por chimeneas, que recibiendo los gases de la combustión a una temperatura muy elevada determinaban un tiro muy defectuoso, que pudo corregirse interponiendo en el trayecto

del humo calderas que utilizaban el exceso de su calor antes perdido, reduciendo su temperatura de salida a poco menos de 300°.

2.2.4 Influencia de las circunstancias atmosféricas sobre el tiro de las chimeneas

Si observamos de nuevo la fórmula teórica del tiro

$$P = S \cdot \frac{d_0}{1 + \alpha t} \cdot \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

se deduce que si la presión del aire baja; disminuye la densidad del aire y el valor de P (de aquí que la combustión sobre las altas montañas se retrase notablemente respecto a los valles). Si el aire contiene vapor de agua, disminuye también su densidad y el valor del tiro, siendo éste tanto menor cuanto más elevado sea el estado higrotérmico del aire. También se observa que a medida que el valor de θ disminuye, o sea la temperatura del ambiente exterior; aumenta el tiro, y prácticamente se confirma esta deducción al comprobarse que los hogares funcionan mejor en invierno que en la época estival.

Como resumen de lo que antecede y en opinión de algunos autores, en las circunstancias más desfavorables, de elevación de la temperatura del aire exterior, descenso de presión atmosférica y estado higrotérmico del aire, puede haber en el tiro hasta un 36 por 100 de diferencia.

2.2.5 Velocidad efectiva de escape de los gases

La fórmula teórica de la velocidad antes hallada

$$v = \sqrt{2 g H \alpha \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}} = 0,268 \sqrt{H \frac{t - \theta}{1 + \alpha \theta}}$$

puede simplificarse para su más cómodo empleo, en atención a que, como ya se ha indicado, siendo siempre muy pequeña la temperatura exterior con relación a la t de los gases evacuados, se puede despreciar el binomio de dilatación $1 + \alpha \theta$ sin grandes errores, ya que resulta poco diferente de la unidad para los valores ordinarios de θ . Se obtiene así la expresión

$$v = 0,268 \sqrt{H(t - \theta)}$$

Si se comprueban por repetidas experiencias los resultados de éstas y se comparan con los obtenidos de la aplicación de la fórmula teórica anterior, se viene en conocimiento de que la velocidad media de las corrientes gaseosas en los conductos de chimenea queda reducida al $\frac{1}{5}$ de su valor teórico, resultando como fórmula práctica de aplicación con la aproximación suficiente

$$v = 0,05 \sqrt{H(t - \theta)}$$

2.3 Cálculo de las dimensiones del conducto interior de una chimenea

2.3.1 Altura de las chimeneas

Consistiendo el efecto útil de una chimenea, como dejamos indicado, en la aspiración, por el hogar del aire necesario para la combustión en un tiempo dado o del tiro, se comprende que este peso del aire dependerá del de combustible empleado, de donde se infiere que para determinar las dimensiones interiores de una chimenea, deberá calcularse el peso del aire que por unidad de tiempo ha de pasar por la parrilla del hogar e igualarle a la expresión del tiro. Ésta, como se sabe, es función de la sección, relacionada a su vez con el volumen de aire empleado para quemar cada kilogramo de combustible, función también de la altura y de la temperatura media de los gases en la chimenea. Pero como se ha deducido del valor de la velocidad teórica, la función que

expresa el tiro también está sujeta a las pérdidas de carga originadas por los rozamientos, cambios de sección, de dirección y resistencia de la parrilla del hogar.

Los fenómenos que se producen en el tiro son muy complicados y las dimensiones de una chimenea nunca pueden ser exactamente calculadas para todos los casos. Para cada género de hogares los resultados deberán referirse a resultados de experiencias. Estas consideraciones, sin embargo, son aplicables más bien a la determinación de las secciones que a la de las alturas. Se ha visto anteriormente, que la altura pasado cierto límite, según resultados de la experiencia, ejerce poca o ninguna influencia en el tiro, y que por esta razón las , las consideraciones que se tienen en cuenta para fijar la altura de las chimeneas pasados los 15 o 20 metros que se toman para mínima, son ajenas al cálculo. Obedeciendo pues, a consideraciones diversas y particulares ajenas al cálculo, se explica la razón de variedad de alturas en estas construcciones, aún estando a veces destinadas a servicios análogos.

No obstante, es opinión general que la altura de chimeneas de fábrica construidas de ladrillo está ordinariamente comprendida entre 25 metros y 40 metros, aproximándose con mayor frecuencia al primer límite.

Hay, por otra parte, reglas empíricas para fijar la altura de las chimeneas. Una de ellas es igualarla a 25 diámetros interiores de la base, sin descender nunca de 16 metros, aunque hay autores que afirman que el límite inferior para obtener un buen tiro es de 10 metros. Se ofrece también la siguiente fórmula, que consigna C.L. de Laharpe en su *Aide-Memoire*:

$$H = \left(\frac{7 \cdot B}{B + 30} \right)^2$$

en la que B representa la cantidad de carbón consumido por hora. Mr. Ph. Hugenin admite que en la mayoría de los casos, siendo $t - \theta = 285^\circ$ centígrados la sección de abertura de la chimenea, se iguale a los $\frac{3}{5}$ del espacio libre de la parrilla, de donde se deduce el diámetro D ; el volumen de aire a la salida es por término medio 2,25 veces el del aire entrante y por consiguiente la velocidad v_1 en metros por minuto de escape de los gases al salir de la chimenea está ligada a la velocidad v en metros por minuto del aire al pasar por la parrilla, por la expresión

$$v_1 = 3,75 v$$

si $v = 60$ metros por minutos, $v_1 = 225$ metros, y en este caso

$$H = 18,1 + \frac{18,1 + l}{14,07 \cdot d - 1}$$

l representa en metros el camino total recorrido por los productos gaseosos desde la parrilla del hogar hasta la chimenea.

Otra fórmula empírica es la dada por G. Schmidt

$$H = \left(\frac{0,02 M}{1 + 0,003 M} \right)^2$$

representando M la cantidad de agua de alimentación en kilogramos por hora, fórmula que sólo se aplica en el caso de bajas temperaturas en la chimenea.

Estas fórmulas y reglas y algunas otras que suelen traer los *Aide-Memoires* no pueden tener carácter genereal ni ser de uso corriente aunque en ocasiones puedan ser utilizables, debiendo atenderse en cada caso para fijar la altura de las chimeneas a las circunstancias locales y consideraciones antes expuestas.

Como principios generales para todos los casos pueden quedar establecidos los siguientes:

1º- El mínimo de altura de una chimenea debe fijarse en todos los países por los reglamentos de policía.

2º- Las altas chimeneas son siempre más costosas que las de sección forzada y menos altura; es, pues, inconveniente adoptar chimeneas muy elevadas.

3º- A altura igual, y siempre que la altura alcance el límite exigido por las circunstancias locales, son preferibles las chimeneas anchas. No debe exagerarse en extremo la sección porque se ello pudiera ocasionarse entradas de aire por la parte superior y consiguientes perturbaciones en el tiro.

2.3.2 Sección de las chimeneas

Las consideraciones expuestas más arriba acerca de las variables que entran en la expresión del tiro y la complejidad de los fenómenos que en este se producen, no permiten nunca calcular exactamente la sección para todos los casos, necesitando en cada uno referirse a resultados de experiencias; de aquí que se haya propuesto tal variedad de fórmulas para la determinación de las secciones de chimeneas.

El método de Pecllet se funda en la proporcionalidad de la sección de la chimenea al consumo de combustible, lo que supone necesariamente que las resistencias queden constantes, hipótesis que puede admitirse porque según el autor "las resistencias que provienen de la parrilla y cambios de dirección, experimentan sólo pequeñas variaciones y las que resultan del rozamiento tienen, en general, escasa influencia en la resistencia total" (*V. Traité de la chaleur*, E. Pecllet).

Suponiendo que el consumo de hulla por decímetro cuadrado de parrilla sea constante de un kilogramo por hora, que la sección del conducto de evacuación de los gases sea también uniforme y cuadrada de lado D , siendo L la longitud total desde la parrilla al coronamiento de la chimenea, representando N el número de cambios de dirección y V el volumen de aire frío que debe ser aspirado por segundo deducido del peso y naturaleza del combustible consumido, deduce Pecllet la siguiente fórmula para determinar D en chimeneas exclusivamente de 10, 20 y 30 metros de altura:

$$V = \frac{2 g H \alpha t}{1 + \alpha t} \cdot \frac{D^4}{g D + (K \cdot L + N \cdot D) \cdot (1 + \alpha t)^2}$$

K es el coeficiente de rozamiento que numerosas experiencias debidas a Girard, D'Aubuisson, Pecllet y otros, han fijado en 0,021.

La fórmula anterior supone además que la resistencia de la parrilla es constante e igual a 8, correspondiente a un consumo de hulla por decímetro cuadrado y hora de un kilogramo.

Los resultados que se obtienen por este método de cálculo solo pueden considerarse como valores aproximados, ya que está basado en hipótesis relativas a la temperatura del aire en la chimenea y a resistencias cuyas representaciones numéricas pueden variar entre límites bastantes separados.

Los demás métodos propuestos están sujetos a la misma inexactitud y su objeto principal no es otro que verificar si las dimensiones obtenidas por la aplicación de reglas empíricas satisfacen en cada caso, asegurando el tiro conveniente. Las diversas reglas prácticas han sido deducidas por sus autores tienen en cuenta las diferentes resistencias, tanto teóricas como prácticas, que la circulación de gases experimenta en los hogares, parrillas, galerías y chimeneas.

La fórmula de *Montgolfier* se enuncia de la siguiente manera. Representando por N el número de kilogramos de hulla que han de consumirse por hora; por p el peso de aire necesario a la combustión: $\frac{N p}{3600}$ expresará el número de kilogramos de aire por segundo que ha de alimentar el hogar, al que podrá igualarse el gasto de la chimenea dado por la fórmula del tiro simplificada:

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

$$\frac{N p}{3600} = \frac{0,348 \cdot S \sqrt{H} \cdot t}{1 + \alpha t}$$

El valor de p se deducirá de su volumen; pero como en un volumen de aire, la cantidad de nitrógeno es cuatro veces mayor que la de oxígeno, único agente de la combustión por ser inerte el nitrógeno, resulta que si para quemar 1 kilogramo de hulla se consideran necesario 2 metros cúbicos de oxígeno tomados a la temperatura del aire atmosférico, serán indispensables 10 metros cúbicos de aire para suministrar dicha cantidad de oxígeno. Ahora bien, debido a la dificultad práctica de quemar convenientemente los combustibles, se consideran precisos 16 metros cúbicos de aire al menos para quemar 1 kilogramo de carbón, cuyo peso será dado en el producto

$$p = 16 \text{ m}^3 \cdot 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 20,8 \text{ kg}$$

En vista de lo expuesto, hagamos $p = 20,8$ y $t=273^\circ$, cifras que determinan una eficaz combustión; y haciendo $k = \frac{1}{5}$ (como se determinó al tratar la velocidad), tendremos:

$$\frac{N \cdot 20,8}{3600} = \frac{1}{5} \cdot \frac{0,348 \cdot 16,523 \cdot S \sqrt{H}}{2} = 0,575 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

y

$$N = 100 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

de donde

$$S = \frac{N}{100 \sqrt{H}} = 0,0100 \frac{N}{\sqrt{H}}$$

El factor numérico que figura en la fórmula representa metros cuadrados, N kilogramos y H en metros. Para recordar más fácilmente esta fórmula puede escribirse de la siguiente manera y se obtendrá la sección en decímetros cuadrados:

$$S = \frac{N}{\sqrt{H}}$$

La fórmula de *Tredgold* se obtiene asignando a p y k , respectivamente, los valores 20 y $\frac{1}{4}$, determinando para la sección la expresión

$$S = 0,0080 \frac{N}{\sqrt{H}}$$

La regla de *Darcet* es una de las más sencillas de todas las reglas prácticas propuestas. Según esta regla, hay que dar a las chimeneas “un decímetro cuadrado de sección por cada 3 a 4 kilogramos de carbón consumido por hora”.

Otra regla conocida es hacer la sección de la chimenea en el coronamiento igual a la sección libre de la parrilla del hogar; y como por otra parte esta sección libre mínima debe ser $\frac{1}{5}$, según los prácticos, de su superficie total, resulta para sección también mínima de la chimenea en la boca el $\frac{1}{5}$ de la superficie total de la parrilla.

Haciendo uso de las fórmulas obtenidas hasta ahora, en un hogar donde se hubiera de consumir 100 kilogramos de carbón por hora, teniendo la chimenea 10 metros de altura; se obtiene:

Por la fórmula de *Montgolfier*

$$S = 0,0100 \cdot \frac{100}{3,18} = 0,314 \text{ m}^2$$

Por la fórmula de *Tredgold*

$$S = 0,0080 \cdot \frac{100}{3,18} = 0,2512 \text{ m}^2$$

Por la regla de *Darcet*

$$S = \frac{100}{3,5} = 0,285 \text{ m}^2$$

Tratándose de chimeneas circulares, que resulta el caso más habitual, se recomienda aumentar el diámetro de la chimenea, una vez deducida la sección por 0,10 metros. En el ejemplo anterior resultaría, según esto, como diámetro medio en la boca, 30 centímetros.

Existen otras fórmulas en función de la potencia. El autor *Valdés*, en su *Manual del Ingeniero*, presenta la siguiente para hallar directamente el área de la sección transversal de una chimenea:

$$S = \frac{0,04 \cdot C}{\sqrt{H}}$$

en la que *C* representa el número de caballos efectivos. El mismo autor indica que parece más conveniente emplear el doble de área calculada o lo que es lo mismo:

$$S = \frac{0,08 \cdot C}{\sqrt{H}}$$

y agrega que cuando $C < 8$ el coeficiente debe ser 0,25.

Buchetti propone un método similar. Admitiendo un consumo de 1,5 kilogramos por caballo, que es hacer el valor de *N* de las anteriores fórmulas igual a $1,5 \cdot C$, resultando

$$S = 0,015 \frac{C}{\sqrt{H}} \quad \text{o} \quad C = \frac{S\sqrt{H}}{0,015} = 67 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

y así se ha calculado el siguiente cuadro:

Tabla 2.1: Determinación de la sección del conducto interno según *Buchetti*

<i>d</i> real.	Sección <i>S</i> de $d - 0,10$	ALTURA DE LAS CHIMENEAS						
		20	25	30	35	40	50	60
		Potencia en caballos á 1,50 kilogramos de carbón por caballo.						
0,6	0,200	58	66	»	»	»	»	»
0,7	0,283	85	95	104	»	»	»	»
0,8	0,385	114	130	140	150	»	»	»
0,9	0,500	150	170	185	200	210	»	»
1,00	0,636	»	213	234	250	270	»	»
1,25	1,038	»	350	380	410	440	490	»
1,50	1,540	»	»	570	610	650	720	800
2,00	2,835	»	»	»	»	1200	1330	1470

El siguiente cuadro, tomado de *Memorial Technique Universel*, supone que la combustión para calderas fijas se hace en las condiciones ordinarias, es decir, que la temperatura media en la chimenea se aproxima a 300° y que se consume, poco más o menos, un kilogramo de hulla por decímetro cuadrado de superficie de parrilla.



Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

Tabla 2.2: Determinación del diámetro interior en función de la altura y el consumo de combustible horario

Chimeneas para calderas fijas.

CONSUMO en kilogramos por hora.	VALORES DE D CORRESPONDIENTES A LA ALTURA H DE LA CHIMENEA					
	$H =$					
	10 metros.	15 metros.	20 metros.	25 metros.	30 metros.	35 metros.
15	0,227	0,208	0,196	0,189	0,183	0,179
20	0,262	0,240	0,227	0,218	0,211	0,207
30	0,321	0,294	0,257	0,266	0,258	0,253
40	0,370	0,339	0,320	0,308	0,298	0,292
50	0,414	0,379	0,358	0,344	0,334	0,326
60	0,454	0,415	0,392	0,377	0,365	0,357
70	0,490	0,448	0,423	0,407	0,394	0,386
80	0,524	0,479	0,453	0,435	0,422	0,412
90	0,555	0,509	0,480	0,461	0,447	0,437
100	0,586	0,536	0,506	0,486	0,471	0,461
120	0,641	0,587	0,554	0,532	0,516	0,505
140	0,693	0,634	0,599	0,575	0,558	0,546
160	0,740	0,678	0,640	0,615	0,596	0,583
180	0,785	0,697	0,679	0,652	0,632	0,618
200	0,828	0,758	0,715	0,687	0,667	0,652

La siguiente tabla encierra también algunos datos prácticos: d y D son los diámetros superior y en la base de la chimenea, en centímetros; H representado en metros

Tabla 2.3: Determinación de función de la altura

H	18	20	25	30	35	40	45	50	60
d	40	45	55	75	95	125	145	155	190
D	76	90	97	150	190	227	250	263	300
C	10	15	25	50	80	150	200	250	400

La curva de la siguiente figura sirve para apreciar las variaciones de diámetros de una chimenea, en relación con su altura. Los puntos que en ella aparecen son indicaciones de algunas chimeneas existentes (V. Cayla y Lerolle: Cheminées monumentales. Paris 1900).

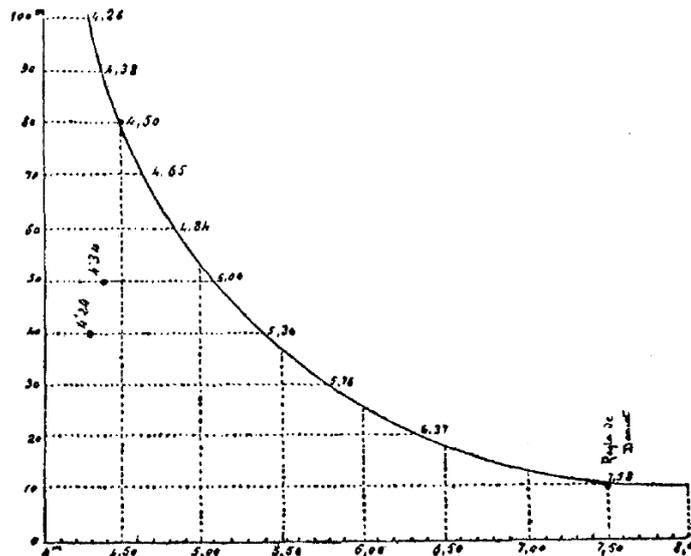


Fig 2.1: Diámetro en relación a la altura (Cayla y Lerolle 1900)

Como resumen de lo expuesto, podemos concluir que asignando a la sección superior de la chimenea un área igual a la de la sección de los vacíos de la parrilla, si se reconoce la necesidad de dar el $\frac{1}{5}$ de la sección de la parrilla para los vacíos, la sección total de ésta será igual a cinco veces la sección de la chimenea; con un área en la sección del coronamiento de la chimenea del $\frac{1}{4}$ al $\frac{1}{5}$ de la superficie de la parrilla y una altura de 25 a 35 metros, se podrán gastar por hora 120 kilogramos de hulla por metro cuadrado de parrilla. La combustión normal es de 60 kilogramos y esto exigirá entonces que el registro de aire esté poco abierto lo que no impedirá dejar asegurada la estabilidad del tiro, porque la velocidad de salida de los gases resultará todavía la necesaria. También, cuando el tiro de las chimeneas está arreglado en condiciones moderadas, el peso p de combustible consumido por hora y metro cuadrado de superficie G de parrilla en 60 o 65 kilogramos.

2.4 Estabilidad y Resistencia

2.4.1 Cimentaciones

En la construcción de las chimeneas de fábrica se debe proceder con especial cuidado en todas sus partes, empezando por un detenido estudio en cada caso de la naturaleza del terreno de las cimentaciones, ya que la particularidad de estas delicadas construcciones es transmitir una carga a su base.

El conocido ingeniero inglés *Rankine*, admitía por deducción de los resultados obtenidos en sus numerosas investigaciones, demostrando con ellas, que la máxima carga vertical que puede imponerse a un terreno, está representada por la fórmula

$$P = d \cdot p \cdot \frac{1 + \operatorname{sen}^2 \varphi}{(1 - \operatorname{sen} \varphi)^2}$$

designado en ella

P , la carga por metro cuadrado en los puntos más fatigados;

d , el peso del metro cúbico de tierra;

p , la profundidad del plano de fundación por debajo del nivel del suelo;

φ , es el ángulo de rozamiento del terreno, variable con la naturaleza del mismo y determinable por el talud que toman naturalmente las tierras o según el ángulo bajo el cual se sostienen. Para una misma clase de terreno, varía también con su grado de humedad o sequedad.

En base a los estudios de *Planat* en su *Mecanique appliqué*e, y considerando una profundidad del plano de asiento de las cimentaciones de 3 metros, una densidad media de 1665 kg/m^3 y los siguientes ángulos de rozamiento en función de tipo de terreno:

Tierras muy flojas	$\varphi = 0^\circ$
Tierras flojas	$\varphi = 15^\circ$
Tierras de resistencia media	$\varphi = 30^\circ$
Buen terreno	$\varphi = 45^\circ$
Terrenos muy sólidos y resistentes	$\varphi = 60^\circ$

se tiene, para un coeficiente de seguridad igual a 2 para cargas permanentes, resultan los siguientes valores de presiones admisibles:

Para	Tierras muy flojas	0,20	kg/cm^2
"	Tierras flojas	0,50	"
"	Tierras de resistencia media	1,25	"
"	Buen terreno	4,50	"
"	Terrenos muy sólidos y resistentes	24,50	"

Los datos anteriores deben tenerse en cuenta indispensablemente en el cálculo de las cimentaciones y no exceder en ningún caso los límites de carga permanente por unidad superficial que pueden admitir los terrenos sobre los que se apoyan las cimentaciones pues las chimeneas transmiten a su base compresiones mayores que las usuales de las edificaciones urbanas de la época que se está tratando.

Con frecuencia, las cargas que tienen que soportar los terrenos sobre los que se cimentan las chimeneas exceden de 2 kilogramos por centímetro cuadrado, aún tratándose de aquellas de altura moderada. Esto exige un terreno bueno, capaz de resistir en condiciones de seguridad hasta 4,50 kilogramos por centímetro cuadrado, lo cual no es siempre posible y se deberán recurrir a procedimientos especiales de cimentación que se estudian en los tratados de construcción, para conseguir que actúen sobre el terreno presiones inferiores a las de los límites admitidos según su naturaleza.

De entre los medios conocidos para alcanzar este fin, los más sencillos y por esto mismo los más empleados son: bien constituir una base o plataforma maciza de hormigón de cemento (Fig 2.2) o de mampostería (Fig 2.3), de espesor y área determinada, o el empleo de pilotes (Fig 2.4). Por ambos procedimientos, repartiéndose uniformemente las cargas sobre todo el terreno ocupado, se disminuye sobre éste la presión, constituyéndose cimentaciones apropiadas para terrenos medios.

El primer modo, o el empleo de plataforma de hormigón o de mampostería y en casos particulares también el de arena, se adopta cuando se trata de terrenos compresibles en espesor o

profundidad tal que deba renunciarse a descender en la capa de terreno de resistencia aceptable. Es necesario entonces consolidar el terreno mediante métodos indicados para que ofrezca la buscada resistencia.



Fig 2.2: Plataforma maciza de hormigón



Fig 2.3: Plataforma de mampostería

El segundo método, o solución pilotada, se emplea cuando a la primera capa de mal terreno y de más o menos espesor le sigue otra de terreno bueno e incompresible. Se establece entonces una superficie rígida de extensión determinada, que, emplazada en el suelo compresible, pero insistiendo en el resistente por el intermedio de pilotes, sirve de asiento al zócalo de la chimenea. En este método se remedian los defectos del suelo por un gran ensanchamiento de la base de las cimentaciones, constituido por la plataforma que resulta del conjunto de pilotes, el emparrillado establecido en el plano de sus cabezas y el macizo de hormigón que le corona casi siempre. La plataforma se dispone de manera que el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas exteriores pase por su centro o muy próximo a él para que las presiones se distribuyan uniformemente y no se produzcan asientos desiguales en el terreno, que son mucho más perjudiciales que las presiones excesivas uniformemente repartidas.

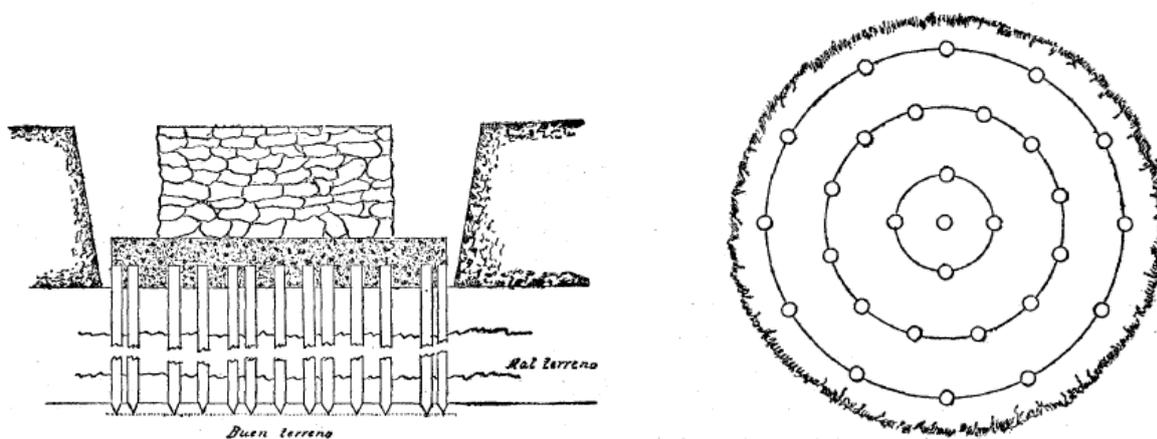


Fig 2.4: Disposición de los pilotes en alzado y en planta

2.4.2 Acciones actuantes sobre la chimenea

Las construcciones sometidas a fuerzas exteriores exclusivamente verticales, peso propio de las fábricas y sobrecargas, se calculan para resistir solamente a compresión, y por lo tanto, solamente desde el punto de vista de su resistencia al aplastamiento. En el momento que interviene otra fuerza exterior, de dirección distinta de la vertical, esta fuerza tiende a desplazar el macizo que se halla sometido a su acción, haciéndole girar alrededor de una arista o haciéndole resbalar sobre su apoyo. En estos casos es necesario oponerse a ese desplazamiento, dando al macizo dimensiones convenientes, que han de responder a su vez a la resistencia propia de los materiales.

En definitiva, la tendencia del macizo al movimiento y desplazamiento bajo la acción de fuerzas exteriores se traduce en un aumento de fatiga de los materiales en determinados puntos, y el cálculo se reduce a determinar las dimensiones del macizo, de modo que no se pase el límite de trabajo admitido para los materiales que le forman.

El viento es una fuerza exterior, cuya acción sobre las construcciones se ejerce en dirección muy diferente de la vertical, y si bien esta fuerza es despreciada en los cálculos de algunas construcciones ordinarias, no puede serlo en el caso de construcciones aisladas cuya base es reducida en relación con su altura, como sucede en faros, torres y chimeneas de fábrica.

La acción de una masa de aire en movimiento, el viento, actúa de una manera análoga a la del agua corriente, cuyas leyes se aplican al viento con ligeras modificaciones.

Sean:

P = presión del viento en kilogramos por metro cuadrado;

S = superficie en metros cuadrados de un plano vertical;

v = velocidad relativa del viento con respecto a la superficie en metros por segundo;

$g = 9,81$, aceleración de la gravedad

∂ = coeficiente empírico creciente con la magnitud de la superficie, cuyos valores límites son 1,86 y 3;

γ = el peso de un metro cúbico de aire

Si la acción del viento se hace sentir sobre una superficie en reposo colocada normalmente a la dirección del movimiento del aire, se tiene en kilogramos

$$P = \partial \cdot \gamma \cdot S \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Para $\partial = 1,86$ $\gamma = 1,293$ $S = 1 \text{ m}^2$ se tiene $P = 0,1225 \cdot v^2$

Según *L'Encyclopedie* por L. Renier:

$$P = 0,125 \cdot v^2$$

Y según Flamant y Marv:

$$P = 0,113 \cdot v^2$$

La expresión de P media entre las anteriores es

$$P = 0,120 \cdot v^2$$

El cuadro siguiente ha sido calculado con esta fórmula:

Tabla 2.4: Presión estática en la fábrica en función de la velocidad del viento

CLASE DE VIENTO	VELOCIDAD	VELOCIDAD	PRESIÓN	
	V km. por hora	v en m. por 1''	P por m ² en kg.	
Calma ó viento apenas sensible.	3,600	1	0,12	
Brisa ligera.	7,200	2	0,48	
Viento fresco.	18,000	5	3,00	
Viento { bueno, { fresco. {	tiende bien las velas.	21,000	6	4,32
	el que conviene á los molinos.	25,200	7	5,88
	fuerte brisa.	28,800	8	7,68
Viento muy fuerte brisa.	32,400	9	9,72	
» muy fresco.	36,000	10	12,00	
» muy fuerte.	43,200	12	17,28	
» impetuoso.	54,000	15	27,00	
» tempestad.	72,000	20	48,00	
» tempestad violenta.	86,400	24	69,12	
» huracán.	108,000	30	108,00	
» gran huracán.	136,800	38	173,28	
	162,000	45	231,00	

Para calcular la estabilidad de las construcciones no es necesario conocer la relación exacta entre la presión ejercida por el viento y la velocidad, pues basta con conocer la mayor presión que puede producirse en cada localidad. De hecho, las presiones que pasan de 300 kilogramos por metro cuadrado sólo se producen excepcionalmente.

2.4.3 Primer procedimiento de cálculo

El primer método se basa en la teoría de prismas considerados como conjunto de sillares superpuestos, cargados en una parte de su base, cuando el punto de aplicación de la resultante de fuerzas a la que está sometido no coincide con el centro de gravedad de la sección de apoyo.

Se sabe que las condiciones de estabilidad y resistencia de un macizo de mampostería no son las mismas dependiendo de si se considera o no la adherencia de los morteros. No obstante, como en el cálculo deben considerarse las fábricas frescas necesariamente, no debe contarse con la adherencia de los morteros. Se tiene entonces que las condiciones de estabilidad y resistencia son las siguientes:

1- La dirección de la presión en cada lecho ha de formar con la normal al plano de éste un ángulo α menor que el φ de rozamiento del material que se emplee, lo que se traduce por $\tan \varphi = f > \tan \alpha$; siendo f el coeficiente de rozamiento por resbalamiento constante para cada material e igual a F/P relación entre el empuje y la presión. Si se satisface la condición $\alpha < \varphi$, el resbalamiento no puede tener lugar.

2- La condición para que no pueda producirse giro alrededor de una arista es que el momento de empuje o momento de giro sea menor que el momento del peso o momento de estabilidad, que se traduce por

$$P \cdot x = m \cdot F \cdot h \quad \text{o} \quad m = \frac{P \cdot x}{F \cdot h}$$

relación que nos da el valor de m , denominado coeficiente de estabilidad, que no debe ser menor que 2.

Esta condición así expuesta sólo atañe al grado de estabilidad de la construcción considerada monolítica. Ampliándola a todos los elementos superpuestos que realmente la constituyen, equivale a que la curva de los centros de presión obtenida uniendo los puntos de aplicación de las resultantes sobre cada lecho, quede comprendida en el espesor del macizo y entonces la condición no sólo hace relación a la estabilidad, sino también a la resistencia. Pero si además se exige que la curva de los centros de presión pase por el interior de los núcleos centrales respectivos de cada sección ideal, entonces el material trabajará sólo por compresión, que es lo que se pretende siempre en el cálculo de chimeneas.

3- La presión máxima en un punto cualquiera no debe exceder la tensión de cálculo del material, y no debe trabajar nunca a tracción pues no se tiene en cuenta la adherencia de los morteros. Esta tercera condición se refiere únicamente a la resistencia de los materiales, y en unión con la anterior, se verificará que la fábrica no sufra tracciones.

Estas tres condiciones han de verificarse no sólo en la base de la chimenea, sino en una sección recta ideal cualquiera, entendiendo el sólido como compuesto de un conjunto de elementos superpuestos unido con mortero fresco y no como monolitos.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- a) Trazado del perfil de la chimenea. División de la altura en el número de trozos o rodillos que se juzgue conveniente.
- b) Determinar el peso de cada rodillo.
- c) Investigación del valor del empuje del viento en cada uno de los diferentes rodillos.
- d) Determinación de los centros de gravedad de las secciones diametrales de los rodillos, puntos de aplicación de las resultantes de las presiones del viento.
- e) Trazado de la curva de los centros de presión.
- f) Trazado de los núcleos centrales
- g) Comprobación de la estabilidad. Primero por resbalamiento. Posteriormente por rotación y cálculo de grado de estabilidad, determinando el valor del coeficiente m .
- h) Comprobación de la resistencia de las piezas.

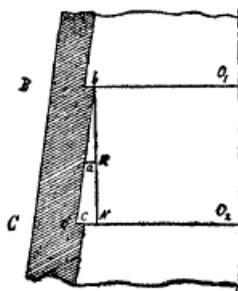


Fig 2.5: Trazado del perfil de la chimenea en rodillos

2.4.4 Segundo procedimiento de cálculo

Este segundo procedimiento consiste en el cálculo de la chimenea como prisma o sólido empotrado en su base, libre en el otro extremo y sometido sobre toda su longitud a una carga originada por la acción del viento de 150 kilogramos por metro cuadrado por lo menos de proyección vertical y a la presión directa ocasionada por el peso de la chimenea, siéndole aplicable la fórmula general de la flexión plana y compresión. En este segundo método se basa en la hipótesis de que la fábrica acepta las tensiones de tracción y la adherencia de los morteros, descontándose la posibilidad de que pueda abrirse alguna junta en la mampostería. Sin embargo, la fuerza elástica desarrollada por la mampostería para resistir a la tracción tiene un límite muy bajo.

Con esta hipótesis la teoría de la flexión plana permite resolver los problemas relativos a la estabilidad de las chimeneas más altas y, siempre y cuando las deformaciones sean planas y las dimensiones transversales pequeñas respecto a la longitud, se verifica que la fuerza elástica entre dos puntos está en la dirección de la línea que los une y es proporcional a la distancia que los separa. Con esto se prescinde del empleo de las curvas de presiones, y se considera la chimenea como sólido empotrado en un extremo y sometido a su propia carga y a la acción del viento. Así pues, la consideración del peso de la chimenea permite, a pesar de la débil resistencia de la fábrica de ladrillo a la tracción, admitir que tal peso introduce un esfuerzo equivalente a la cohesión.

Este segundo método no difiere en esencia del método anterior pero tiene un carácter distinto. Quizás parezca menos satisfactorio que el primero, y en cierto modo es contradictorio porque admite un trabajo de la mampostería a tracción, pero ofrece ventajas por su rapidez y su sencillez por lo que es adecuado para la fase de anteproyecto. Sin embargo, el primero es más adecuado para fases posteriores porque es más completo.

2.5 Principios generales de construcción

Las grandes chimeneas de fábrica están compuestas de tres partes principales, pedestal, fuste y coronamiento o capitel.

Las cimentaciones son uno de los elementos más importantes y su establecimiento está sometido a las condiciones generales de toda construcción de mampostería y hormigón, materiales con el que se construyen. Los mampuestos deberán ser de piedra dura y resistente, dispuestos de tal modo que repartiendo bien las presiones garanticen la solidez y resistencia de la superficie de apoyo de la primera hilada del pedestal. El mortero empleado debe ser hidráulico, y en la confección de los hormigones debe tenerse mucho cuidado en la calidad, limpieza y proporciones de los materiales componentes y en que la mezcla resulte homogénea. Su aplicación ha de hacerse por tongadas de 0,25 a 0,30 metros de espesor, bien apisonadas.

2.5.1 Pedestal

El pedestal, compuesto de zócalo, cuerpo y coronamiento, es a veces de forma cilíndrica y, con más frecuencia, prismática. Esta forma es preferida porque facilita el encuentro de las bóvedas de los conductos de humo y la construcción de los arcos de entrada a la chimenea. La altura del pedestal está en relación con la total de la chimenea, apartándose poco su valor del de la raíz cuadrada de ésta. El perfil es casi siempre de contorno vertical y ya sean circulares, cuadrados o pentagonales, llevan molduras salientes en su cornisa de coronamiento y zócalo sobre el terreno. El zócalo penetra debajo del suelo para recibir los conductos de humo subterráneos y todavía se prolongará a mayor profundidad para constituir el cenicero (Fig 2.6)

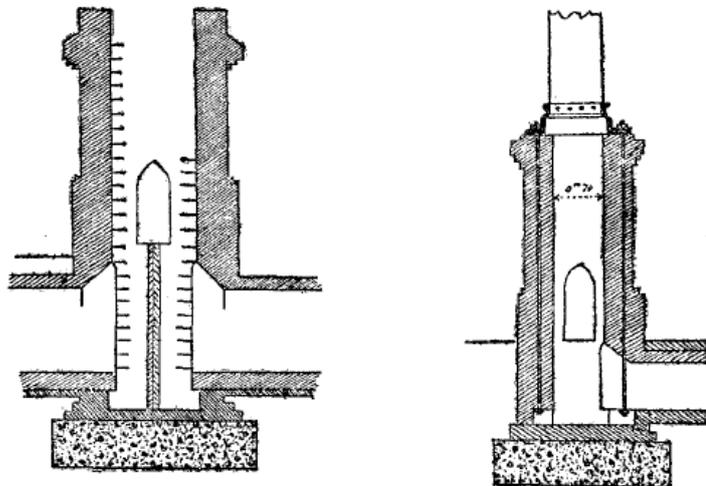


Fig 2.6: Encuentro de la chimenea con los conductos inferiores

Cuando desembocan en una chimenea dos conductos de humo de direcciones diferentes (Fig 2.6) se levanta entre ambas un murete de ladrillo para evitar los remolinos que se producirían al encontrarse los gases si no se dispusiera el murete. Si las direcciones fueran diametralmente opuestas, el murete se dispone oblicuamente con relación a las corrientes de llegada; de este modo se suprimen en gran parte los remolinos que se producirían con un tabique perpendicular a la dirección de los gases.

Además de las aberturas para la entrada de los gases en el pedestal, existe sobre la rasante del suelo una abertura o puerta que se utiliza durante la construcción por los operarios y para los materiales, y que después sirve para reparaciones o limpiezas. Esta puerta de servicio se cierra con cítara o asta entera de ladrillo una vez terminada la construcción. En ocasiones estas puertas de servicio disponen de cierres autoclaves.

2.5.2 Fuste

El fuste es casi siempre de forma tronco-cónica de revolución (Fig 2.7), aunque se construyen también de forma cuadrada y poligonal. No obstante, se prefiere la sección circular frente a la poligonal ya que ofrece dos veces menos resistencia al viento, es más favorable al movimiento rápido de los gases, se enfrían menos en beneficio del tiro, se necesita menos material para la misma sección y pueden presentar, en general, un aspecto más agradable. Después de la sección circular la más admitida es la octogonal, y en último término, vienen las cuadradas, que se adoptan sólo cuando no se dispone de albañiles hábiles y en los altos hornos.

La sección vertical diametral presenta un talud de paramento exterior variable entre 0,018 y 0,035 metros por metro, en función del diámetro de la chimenea; y el paramento interior decrece en $\frac{1}{60}$ de la base a la boca.

2.5.3 Coronamiento

El coronamiento remata el fuste y ofrece una salida o vuelo sobre éste más o menos pronunciado y es, junto con el pedestal, las partes de la chimenea que más se prestan a la ornamentación. Aunque no todos los constructores están conformes con que la terminación superior de las chimeneas adopte forma de capitel, sí que es consenso que toda chimenea debe tener en su boca un pararrayos (Fig 2.8), no sólo por su elevación superior a la de las construcciones que la rodean, sino además porque el hollín que se fija a las paredes interiores es un cuerpo buen conductor de la electricidad.

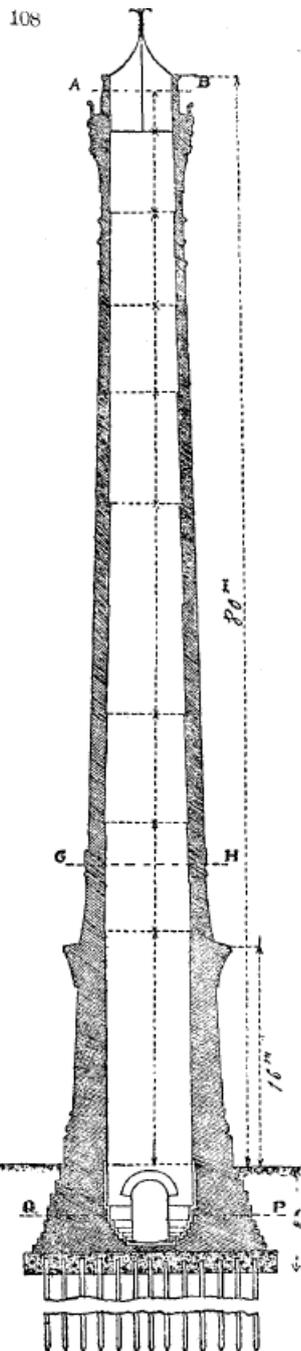


Fig 2.7: Sección del fuste por el eje vertical de revolución

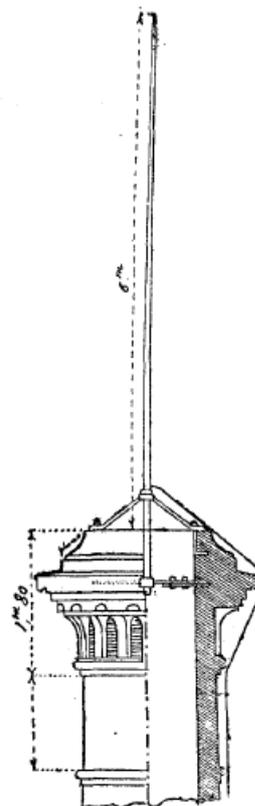


Fig 2.8: Coronamiento con pararrayos instalado

2.5.4 Materiales

En las cimentaciones se utiliza hormigón de cemento, mampostería hidráulica o ladrillo trabado con mortero de cemento. El ladrillo refractario se emplea también como revestimiento de fondo y en la parte inferior de la chimenea. En todo lo demás el material a utilizar es ladrillo con mortero ordinario, hidráulico a poder ser, y sillería para decoración.

En la confección del mortero, compuesto de un volumen de cal por dos volúmenes de arena, debe procederse con un cuidado particular. La arena debe ser muy fina y pura, exenta de arcilla y

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

previamente lavada. El cemento ha de ser de fraguado lento, y si se emplea cal grasa, la mezcla con la arena debe batirse varias veces antes de emplearla hasta obtener una pasta blanda, fina y perfectamente homogénea.

Los ladrillos deben tener unas dimensiones recomendadas de 22 x 11 x 5,4 cm. Deben elegirse de color uniforme y los más sanos, mejor cocidos y más regulares. Aunque la sección transversal del fuste sea circular, no conviene el empleo de ladrillos especiales moldeados en forma de cuña. Tales ladrillos no son necesarios, tanto por los grandes diámetros de las chimeneas como por la habilidad de los albañiles especialistas que se dedican exclusivamente a la construcción de chimeneas. Por otra parte, los ladrillos aplantillados habrían de serlo precisamente para una determinada chimenea y aun dentro de cada caso, no uniformes, por las diferencias bastante apreciables de diámetro en los extremos de las chimeneas, lo que no sería práctico.

A continuación se presentan 3 tablas (Tablas 2.5 - 2.7), de *Mathieu* la primera y de *Traité des fondations mortiers maçonneries* de *G. Oslet* y *J. Chaix* las dos siguientes. Las dos primeras expresan la altura de las diferentes zonas verticales (rodillos) en función de los espesores de la fábrica y de la altura de la chimenea. Nótese que los espesores son múltiplos de 0,11 metros pues se está considerando un ladrillo de Borgoña de dimensiones 22 x 11 x 5,4 cm. La tercera tabla representa dimensiones típicas de las chimeneas en función de la fuerza en caballos de la máquina de vapor.

Tabla 2.5: Altura de los rodillos en función de los espesores de la fábrica y la altura total de la chimenea

DIMENSIONES de las chimeneas (Mathieu).

Altura de la chimenea.	Alturas correspondientes a los espesores de la fábrica.								
	0 ^m ,11	0 ^m ,22	0 ^m ,33	0 ^m ,44	0 ^m ,55	0 ^m ,66	0 ^m ,77	0 ^m ,88	0 ^m ,99
10	2	3,50	4,50	»	»	»	»	»	»
12	2	4	6	»	»	»	»	»	»
15	2,50	3,50	4,50	4,50	»	»	»	»	»
18	3	4	5	6	»	»	»	»	»
20	3	3,50	4	4,50	5	»	»	»	»
22	3	3,70	4,40	5,10	5,80	»	»	»	»
25	3,30	4,15	5	5,85	6,70	»	»	»	»
28	3,60	4,60	5,60	6,60	7,60	»	»	»	»
30	3	3,80	4,60	5,40	6,20	7	»	»	»
32	3,30	4,10	4,90	5,70	6,50	7,50	»	»	»
35	3	3,50	4,50	5	6,50	6	7,50	»	»
38	3	3,50	4	4,50	5	5,50	6	6,50	»
40	3	3,55	4,10	4,65	5,20	5,80	6,50	7,20	»
42	3	3,40	3,80	4,20	4,60	5	5,50	6	6,50
45	3	3,50	4	4,50	5	5,50	6	6,50	7
50	3,20	3,70	4,20	4,80	5,40	6	6,70	7,50	8,50

Tabla 2.6: Altura de los rollizos en función de los espesores de la fábrica y la altura total de la chimenea

CUADRO de espesores y alturas de las diferentes zonas verticales que componen las chimeneas.

La primera zona forma la boca de la chimenea y tiene 0^m,11 de espesor, siguiéndole debajo las demás.

Altura total de la chimenea	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a	9. ^a	10. ^a
	0 ^m ,11	0 ^m ,22	0 ^m ,33	0 ^m ,44	0 ^m ,55	0 ^m ,66	0 ^m ,77	0 ^m ,88	0 ^m ,99	1 ^m ,10
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
8	1,50	2,65	3,85							
10	1,80	3,30	4,90							
12	2,00	4,00	6,00							
14	2,50	4,50	7,00							
15	2,50	3,50	4,50	4,50						
16	2,50	3,50	4,50	5,50						
18	3,00	4,00	5,00	6,00						
20	2,80	3,40	4,00	4,60	5,20					
22	3,00	3,70	4,40	5,10	5,80					
24	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40					
25	3,30	4,15	5,00	5,85	6,70					
28	3,60	4,60	5,60	6,60	7,70					
30	3,00	3,80	4,60	5,40	6,20	7,00				
32	3,30	4,10	4,90	5,70	6,50	7,50				
34	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	7,00			
35	3,00	3,50	4,50	5,00	5,50	6,00	7,50			
36	3,00	3,70	4,40	5,10	5,80	6,60	7,40			
38	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50		
40	3,00	3,55	4,10	4,65	5,20	5,80	6,50	7,20		
42	3,00	3,40	3,80	4,20	4,60	5,00	5,50	6,00	6,50	
44	3,00	3,45	3,90	4,35	4,80	5,30	5,80	6,40	7,00	
46	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,60	6,20	6,80	7,40	
50	3,20	3,70	4,20	4,80	5,40	6,00	6,70	7,50	8,50	
55	3,20	3,70	4,20	4,70	5,20	5,70	6,20	6,70	7,40	8,00

Tabla 2.7: Dimensiones típicas de las chimeneas en función de la fuerza en caballos de la máquina de vapor

CUADRO de las dimensiones de las chimeneas adoptadas por un importante establecimiento de construcción de máquinas de vapor.

El espesor en la boca es de 0^m,11 en todas.

FUERZA en caballos.	Chimeneas redondas.		Chimeneas cuadradas.		ESPESOR inferior encima de la base.	ALTURA encima de la base.	ALTURA de la base.
	Diámetro interior		Lado interior				
	inferior.	superior.	inferior.	superior.			
	m	m	m	m	m	m	m
1	0,24	0,20	0,22	0,18	0,33	8	2,50
2	0,41	0,25	0,38	0,22	0,33	10	3,00
3	0,56	0,28	0,53	0,25	0,33	12	3,20
4	0,60	0,30	0,67	0,27	0,33	14	3,40
6	0,65	0,35	0,70	0,30	0,44	16	3,60
8	0,74	0,40	0,77	0,35	0,44	18	3,80
10	0,82	0,42	0,90	0,38	0,55	20	3,90
12	0,88	0,44	1,04	0,40	0,55	22	4,00
15	1,04	0,48	1,035	0,425	0,55	24	4,20
20	1,16	0,54	1,10	0,48	0,55	25	4,30
25	1,22	0,60	1,15	0,53	0,55	25	4,30
30	1,36	0,66	1,38	0,58	0,55	28	4,60
35	1,40	0,70	1,32	0,62	0,66	30	4,80
40	1,45	0,75	1,37	0,67	0,66	30	4,80
45	1,50	0,80	1,42	0,72	0,66	30	5,00
50	1,57	0,85	1,57	0,75	0,66	32	5,00
60	1,62	0,90	1,52	0,80	0,77	34	5,20
70	1,80	0,96	1,69	0,85	0,77	36	5,40
80	1,84	1,04	1,76	0,92	0,77	36	5,40
90	1,88	1,10	1,72	0,98	0,88	38	5,60
100	2,01	1,15	1,88	1,02	0,88	40	5,80
120	2,11	1,25	1,96	1,10	0,88	40	5,80
150	2,16	1,40	1,98	1,22	0,99	42	6,00
180	2,38	1,50	2,23	1,35	0,99	44	6,20
200	2,60	1,60	2,40	1,40	0,99	46	6,40
250	3,04	1,80	2,82	1,58	0,99	50	6,60
300	3,32	2,00	3,07	1,75	1,10	55	7,00

2.6 Método de construcción

Hasta 1838 las chimeneas se construían empleando en su elevación andamios muy costosos, con piezas de sección y longitudes crecidas y convenientemente arriostrado, utilizando escaleras o rampas de servicio para el ascenso de obreros y materiales más pesados, y poleas para los más ligeros. Posteriormente se dejaron de emplear andamios excepto para el pedestal, en el que se emplean ocasiones piezas de sillería lo que no hace posible prescindir de ellos. Pero a partir del pedestal se elevan las hiladas de fábrica por el interior. Para ello, los obreros se instalan en

plataformas sostenidas sobre barras de hierro que se van introduciendo en agujeros preparados para ello, distanciados verticalmente 1,50 metros. Los materiales son elevados por el interior mediante un pescante, dispuesto en dos apoyos situados sobre la hilada superior sobre algunos ladrillos; y sobre él se fija una polea provista de una cuerda, que se acopla a un torno instalado en el suelo. Las grandes chimeneas pueden exigir la instalación de un torno de vapor, situado exteriormente al pie del pedestal.

Para asegurar la verticalidad del eje de una chimenea, condición que cumplen muy pocas, se debe tener mucho cuidado en la regularidad de la forma circular en cada hilada alrededor de su centro. Las hiladas de ladrillo se colocan con la ayuda de la regla de talud, que se compone de una pieza rectangular de 1,15 metros de longitud y 0,15 metros de ancha. En su medio y en sentido longitudinal está trazada una línea de fe que ha de disponerse en posición vertical al hacer uso de la regla mediante una plomada. Todos los ladrillos van colocándose horizontalmente sobre ambos paramentos y a cada 2 metros de elevación debe verificarse la forma circular y el talud. La tipología de aparejo a emplearse debe ser a tizones.

Por otro lado, cualquiera que sea la forma del fuste, ya termine este por un simple cordón ya por una cornisa, es necesario hacerlo por una cubierta protectora cuyo objeto principal es evitar las filtraciones de lluvia y la consiguiente degradación de las juntas, presentando además la ventaja de cargar las hiladas superiores de los ladrillos impidiendo su desunión. La fundición en planchas o tejas es el material más indicado para este objeto, cubriendo además la parte volada de la cornisa (Fig 2.9)

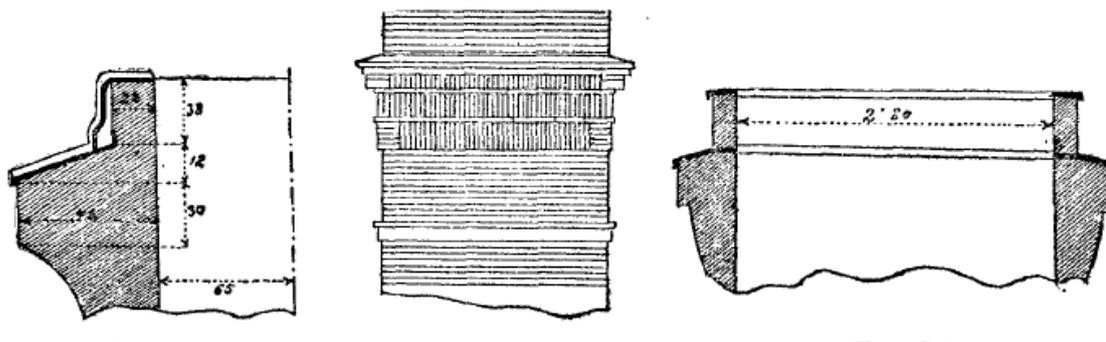


Fig 2.9: Soluciones de cubierta protectora en el coronamiento

En cuanto a los sistemas de ascensión, a fin de alcanzar la boca de la chimenea en ocasión de limpiezas o reparaciones ligeras, se establece en el interior de toda chimenea una escala de hierro forjado, de 0,40 metros de ancho como mínimo. Las escalas se forman de tanta partes cuantos sean los rodillos o zonas que constituyen el fuste y se debe tener cuidado para que cuando se calienten (a 300° como máximo en estas chimeneas) los anclajes puedan operar libremente de tal manera que no accionen sobre la fábrica. También pueden utilizarse simples apoyos de hierro empotrados en la fábrica, establecidos a medida que se construye la fábrica (Fig 2.10).

En lo que se refiere al zunchado, a veces es necesario para impedir las disgregaciones de los materiales, ocasionadas por la acción de las dilataciones debidas a las altas temperaturas. La sección de los zunchos es rectangular, de lado mayor igual al grueso del ladrillo y 1 centímetro de grueso; por ejemplo, de 60 x 10 milímetros (Fig 2.11). Los zunchos se multiplican en cornisas y capiteles.



Fig 2.10 Elementos de ascensión instalados en las chimeneas.



Fig 2.11: Zunchado de las chimeneas

En cuanto a la mano de obra, el obrero de las grandes chimeneas constituye una especialidad difícil de formar: su posición para el trabajo es incómoda y peligrosa, hallándose sometido a oscilaciones y expuesto al viento y al tiro de la chimenea. Para que la ejecución de una chimenea sea tan satisfactoria como sea posible, conviene que el mismo obrero haga todo el paramento, y esto es lo que comúnmente tiene lugar. El personal obrero destinado a la construcción de una chimenea de ladrillo se compone de cinco hombres: un maestro, dos oficiales y dos o tres peones. El maestro dirige y verifica el trabajo; el más hábil de los dos oficiales hace los paramentos y el otro ayuda preparándole el mortero; y los peones preparan y alcanzan sobre el andamio los materiales. El tiempo que se juzga necesario en la buena estación del año para la construcción de una gran chimenea es de medio metro de altura por día.

2.7 Ejemplo práctico de monitorización estructural y evaluación de daño

Cualquier estructura puede estar sujeta a daños, independientemente del material del que esté construido. La aparición de daños implica el comienzo de un funcionamiento ineficaz aunque pueda seguir siendo satisfactorio. No obstante, el deterioro, falta de utilidad funcionalidad en una construcción afectada por un daño se puede evitar si se adoptan herramientas capaces de evaluar las condiciones estructurales. Por ello, y con motivo de la preocupación e interés en la conservación del patrimonio construido, es común hoy en día, y cada vez con mayor frecuencia, que se realicen estudios sobre el estado de diferentes estructuras históricas. Los autores Masciotta, Ramos, Lourenço y Vasta; del Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad de Minho, los tres primeros, y del Departamento de Ingeniería y Geología de la

Universidad d'Annunzio, (Masciotta et al. 2014) realizaron un estudio centrado en la identificación de daños en una chimenea de fábrica de ladrillo en Guimarães, ciudad al norte de Portugal.

2.7.1 Caso de estudio y metodología

La chimenea objeto de estudio perteneció a un antiguo complejo industrial en el centro de la ciudad de Guimarães, ciudad histórica del norte de Portugal. La estructura ya fue monitorizada entre noviembre de 2010 y junio de 2011; y en dicho periodo se le hizo una medición topográfica y las inspecciones visuales pusieron de manifiesto una pobre condición estructural. Después de que un rayo cayera en la chimenea en julio de 2012, fue necesaria una nueva fase de inspección y diagnosis. Durante la inspección se observaron la presencia de dos aberturas causadas por la descarga eléctrica y la aparición de nuevas grietas, así como la propagación de grietas existentes. Además se observaron varios defectos superficiales como desagregación, humedad e invasión herbácea. Las dos nuevas aberturas (Fig 2.12) empeoraron de manera notable la condición estructural de la chimenea, que ya sufría de un ligero desplome en la coronación, deformaciones plásticas en los dos tercios superiores y de la desconexión de la parte superior de la estructura respecto al cuerpo principal.



Fig 2.12: Chimenea caso de estudio y aberturas ocasionadas por una descarga eléctrica

Se estimó conveniente realizar una reparación con carácter urgente para restablecer la seguridad, cerrar las grietas, reconstruir las aberturas nuevas, limpiar la chimenea y protegerla frente a la humedad. Aparte de la inspección visual, la chimenea fue objeto de Ensayos No Destructivos (NDT) y de una campaña de monitoreo continuo para analizar la evolución de los parámetros modales y evaluar el éxito de las obras de rehabilitación.

La efectividad de un análisis dinámico reside en que es posible identificar el daño, y por consiguiente verificar el éxito de una actuación, observando la variación de los parámetros modales. Los parámetros medidos fueron las frecuencias propias, los modos de vibración y las relaciones de amortiguamiento. Estos parámetros son función de las propiedades físicas de la estructura, por lo tanto, cualquier cambio en las propiedades físicas (como la rigidez o flexibilidad) provocará cambios en las características dinámicas. También es necesario señalar que los métodos basados en la vibración es una técnica global que dan, no sólo una indicación cualitativa de la presencia de daños en una estructura, sino que también proporcionan información sobre su posible ubicación, lo que contribuye a avanzar en la tarea subsiguiente relacionada con la estimación de la magnitud del daño. El método basado en la identificación espectral juega un papel importante ya que es una herramienta no destructiva adecuado para Análisis Modal Operacional (OMA) que pueden resultar muy útil en el caso de estructuras de mampostería, especialmente en lo que las construcciones históricas se refiere.

2.7.2 Análisis Modal Operacional

Para el análisis se utilizaron técnicas output, es decir, una vez colocados los dispositivos en la chimenea, no hacía falta inducirle ninguna acción para obtener resultados (de lo contrario sería

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

input). Sin embargo, antes de proceder al OMA, se procedió a efectuar un análisis previo de Elementos Finitos (FEM, Finite Elements Model) para obtener las frecuencias propias con el fin de elegir los puntos de medición (12), la frecuencia de muestreo (200 Hz) y el tiempo de toma de muestras total (10 minutos). Se utilizaron dos configuraciones, tres niveles para configuración y 4 acelerómetros para cada nivel ya que era necesario medir una dirección **y** adicional, en puntos diametralmente opuestos, además de las tres direcciones **x**, **y** y **z** con el fin de medir las posibles componentes de torsión.

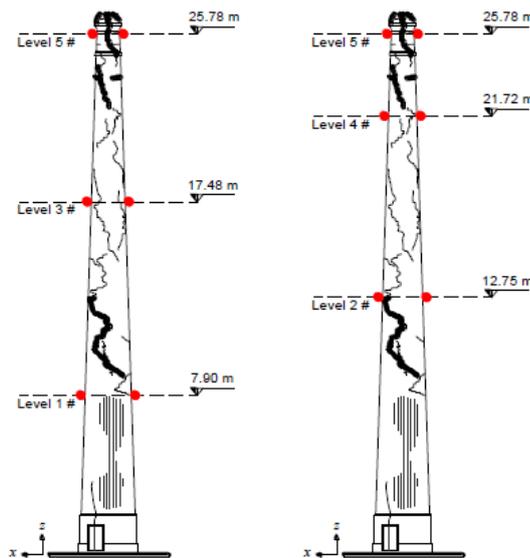


Fig 2.13: Localización de los puntos de medición para cada una de las configuraciones

Solamente se utilizaron las acciones ambientales de viento y el tráfico como condiciones externas. Las siguientes tablas resumen los resultados obtenidos en términos de frecuencias (Tabla 2.8) y proporciones de amortiguación (Tabla 2.9). Como se muestra, las obras de rehabilitación condujeron a un aumento general de los valores de frecuencia de la estructura (en promedio alrededor de 8%), sobre todo en cuanto a los modos más altos se refiere. Se detectó también un aumento significativo de los coeficientes de amortiguación (alrededor de 123% de media).

Tabla 2.8 Frecuencias propias antes y después de las obras

Tabla 2.9 Proporciones de amortiguación antes y después de las obras

Table 1. Eigen frequencies values before and after works.

Mode	Before		After		$\Delta\omega$ [%]
	ω [Hz]	CV_ω [%]	ω [Hz]	CV_ω [%]	
1	1.015	0.26	1.018	0.18	+0.30
2	1.15	0.08	1.10	0.05	-4.09
3	3.20	0.75	3.39	0.26	+5.90
4	3.65	0.18	3.73	0.33	+2.11
5	6.39	0.50	-	-	-
6	7.32	0.24	7.79	0.21	+6.51
7	8.81	0.05	10.29	0.03	+16.85
8	11.40	0.07	12.51	0.32	+9.74
9	12.31	0.22	13.37	0.38	+8.61
10	13.93	0.19	13.53	0.28	-2.87
Average	-	0.40	-	0.23	+7.95*

Table 2. Damping ratios before and after repair works.

Mode	Before		After		$\Delta\xi$ [%]
	ξ [%]	CV_ξ [%]	ξ [%]	CV_ξ [%]	
1	0.48	63.53	2.53	2.43	+429.6
2	0.95	20.91	3.30	6.25	+248.3
3	0.91	29.18	1.36	8.60	+49.43
4	0.90	15.07	1.96	6.58	+117.6
5	0.75	45.42	-	-	-
6	0.84	39.77	1.09	10.77	+30.26
7	0.58	9.79	0.91	24.17	+56.44
8	1.24	31.92	1.84	1.94	+47.91
9	1.46	16.22	1.58	24.21	+7.87
10	2.56	33.33	2.29	39.97	-10.62
Average	1.21	27.31	1.87	13.88	+123.43*

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

En cuanto a la comparación de los modos de vibración entre las dos condiciones estructurales (antes y después de la actuación) (Fig 2.14), a pesar de la similitud en el modo, es posible observar una correlación débil en todos los modos excepto los inferiores. La existencia de daños, especialmente en lo referente a los dos agujeros causados por el rayo, además de todas las grietas, se refleja en una serie de efectos locales que desvían claramente la respuesta de la estructura dañada de la conducta monolítica que caracteriza a la chimenea después de los trabajos.

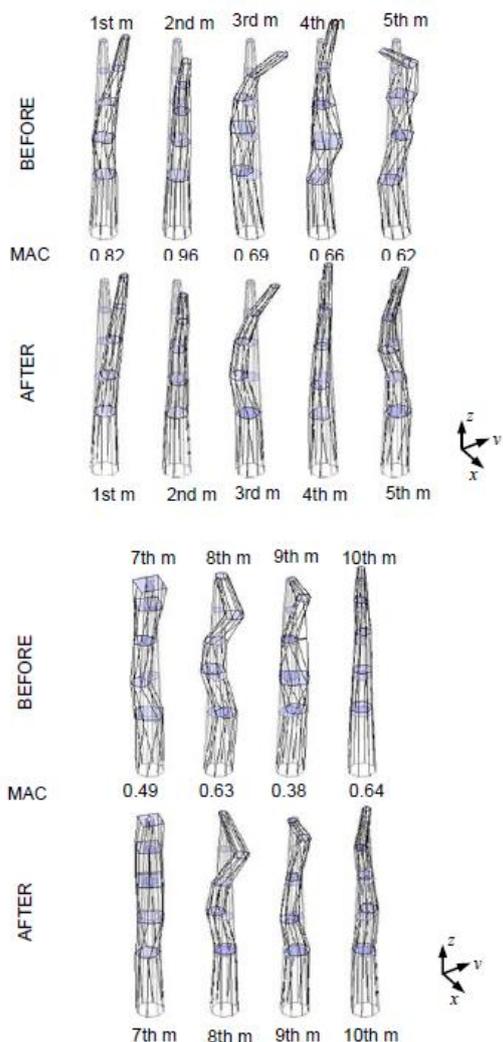


Figure 5. Experimental mode shapes and MAC values before and after rehabilitation works.

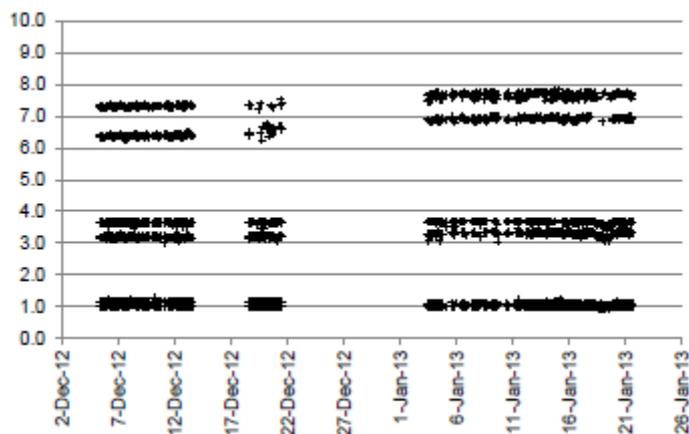


Fig 2.14: Modos propios de vibración antes y después de las obras

Fig 2.15: Evolución de las frecuencias naturales durante el transcurso de las obras

Con el objetivo de seguir la evolución de las frecuencias naturales durante las obras, la tarea de supervisión dinámica se realizó con los cuatro transductores de aceleración colocados en la parte superior. Esta tarea se llevó a cabo a partir de diciembre 2012 a febrero 2013 y, particularmente, se prestó atención durante la reconstrucción de la fábrica en las zonas en las que el rayo causó las aberturas. Se tuvieron en cuenta las primeras seis frecuencias propias y tal y como se muestra

en la Figura 2.15, los cambios significativos tenían lugar en las frecuencias naturales más altas, mientras que los inferiores no sufrieron cambios considerables.

Juntando todos los resultados, es posible concluir que la presencia de daño cambió el comportamiento dinámico de la estructura con respecto a la configuración original en términos de relaciones de amortiguamiento y frecuencias naturales, tal y como señala el análisis OMA. En particular, cuanto mayor es el modo, mayor es la variación. Teniendo en cuenta también los datos de la monitorización dinámica, la eficacia de la intervención estructural es notable: esto es bastante evidente si uno mira a la tercera campaña de recogida de datos, cuando la reconstrucción de la fábrica condujo a un aumento de la rigidez que derivó en un aumento de la frecuencia. En conclusión, es posible afirmar que las obras de rehabilitación fueron capaces de restablecer la seguridad de la chimenea.

3 LOCALIZACIÓN DE LAS CHIMENEAS Y PREPARACIÓN DE LAS VISITAS

3.1 Situación geográfica de las construcciones estudiadas

La zona de estudio comprende las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo dentro de la comunidad autónoma de Cantabria (Fig 3.1). Se decidió estudiar estas tres comarcas (Fig 3.2) porque en caso de haber estudiado toda la comunidad autónoma podría resultar una tarea demasiado ambiciosa y en caso de estudiar una sola comarca podría no haberse localizado un número representativo de chimeneas, quedando el estudio muy pobre.



Fig 3.1: División de Cantabria por comarcas. Imagen obtenida de <http://www.cantabria102municipios.com/>

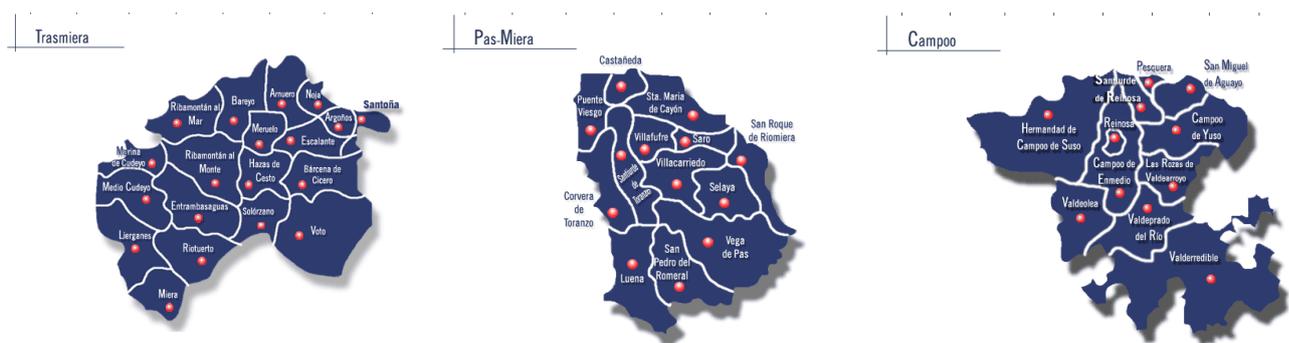


Fig 3.2: Municipios de las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo. Imagen obtenida de <http://www.cantabria102municipios.com/>

La metodología seguida para la localización de las chimeneas fueron dos principalmente; una primera vía de búsqueda en internet y una segunda de contacto directo con la administración pública y personas conocidas.

La búsqueda por internet tuvo, a su vez, dos vías partes. Por una lado la localización visual, esto es, tratar de localizar las chimeneas directamente desde la vista satélite pública en la web; y por otra parte consultando artículos en internet sobre patrimonio industrial en estas comarcas (Sierra Álvarez; Ruíz Gómez, 2011; www.pindio.es). Es necesario destacar acerca del segundo punto, que la existencia de las chimeneas no venía explícitamente indicada en dichos artículos y que,

para localizarlas (en caso de haber existido o de seguir en pie), era necesario situar la fábrica, para ponerse en contacto con la misma en caso de seguir en funcionamiento, o intentar visualizar la chimenea con la herramienta *Street View* de Google Maps. Por ejemplo, en la publicación de Sierra Álvarez se hacen referencias a industrias de vidrio en la comarca de Campoo que ya no existen a raíz del abandono de este tipo de industria por falta de rentabilidad o por anegación debido a la construcción del embalse del Ebro (Fig3.3).



Fig 3.3: Derribo de las chimeneas de Arija, posteriormente anegada por el embalse del Ebro, 1960. Imagen obtenida de http://www.arija.org/es/index.php?title=Arenas_de_Arija/Derribo_de_la_chimenea

En cuanto al contacto con administraciones públicas, lo que se hizo fue llamar al ayuntamiento de todos los municipios de las comarcas estudiadas e intentar hablar con el técnico municipal o alguna persona con conocimiento del municipio, teniéndose mayor éxito en algunas ocasiones que en otras.

En la siguiente tabla (Tabla 3.1) se muestran las chimeneas localizadas. También se incluye una figura (Fig 3.4) en la que se sitúan las chimeneas en planta en el marco de la comunidad autónoma.

Tabla 3.1: Tabla resumen de las chimeneas localizadas

Chimenea	Comarca	Municipio	Localidad	Uso histórico
CHIM_N1	Trasmiera	Ribamontán al Monte	Villaverde de Pontones	Industria láctea
CHIM_N2	Trasmiera	Riotuerto	La Cavada	Industria textil
CHIM_N3	Pas-Miera-Pisueña	Santa María de Cayón	Sarón	Industria cerámica
CHIM_N4	Pas-Miera-Pisueña	Santa María de Cayón	La Penilla	Industria láctea
CHIM_N5	Campoo	Campoo de Enmedio	Nestares	Industria harinera
CHIM_N6	Campoo	Las Rozas de Valdearroyo	Arroyo	Industria de vidrio
CHIM_N7	Campoo	Las Rozas de Valdearroyo	Arroyo	Industria de vidrio
CHIM_N8	Campoo	Campoo de Enmedio	Requejo	Industria cerámica
CHIM_N9	Campoo	Reinosa	Reinosa	Industria metalúrgica
CHIM_N10	Campoo	Reinosa	Reinosa	Industria metalúrgica
CHIM_N11	Campoo	Reinosa	Reinosa	Industria metalúrgica
CHIM_N12	Campoo	Reinosa	Reinosa	Industria metalúrgica

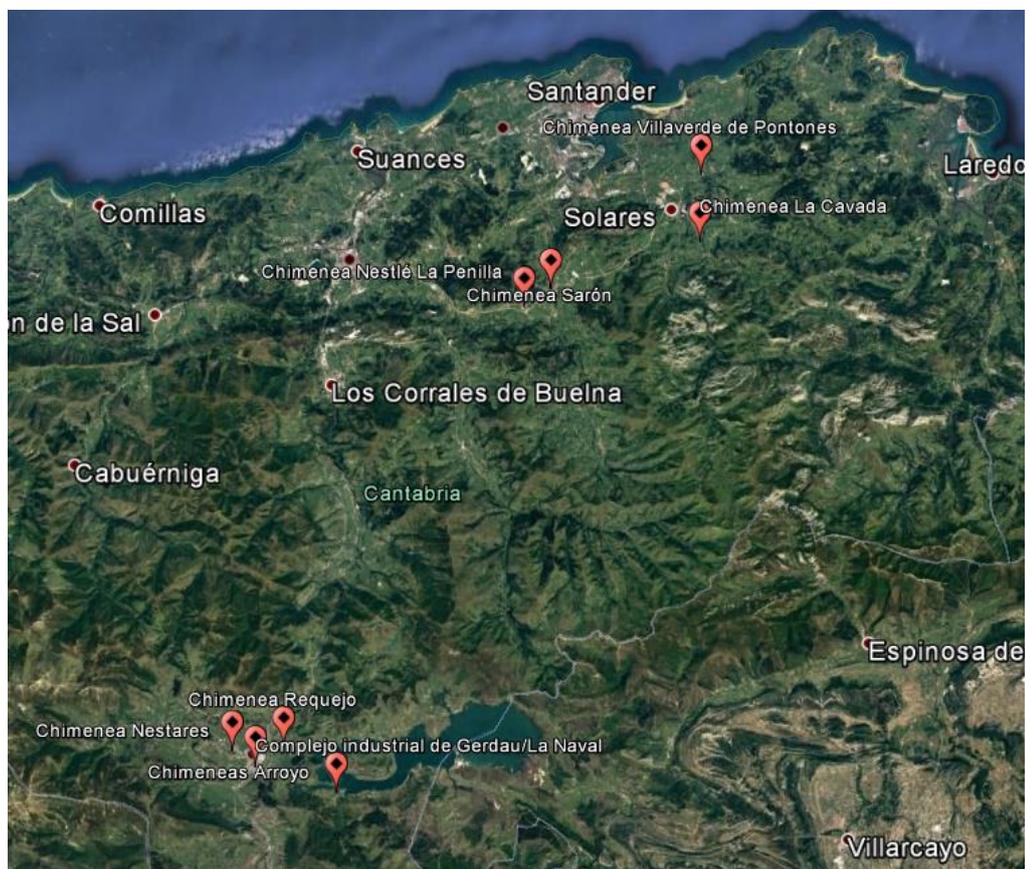


Fig 3.4: Localización en planta de las chimeneas estudiadas. Elaboración propia

Hay que puntualizar que la chimenea de la fábrica de Nestlé en La Penilla no es una chimenea de ladrillo, sino de hormigón con un revestimiento interior de ladrillo refractario y que se incluye porque en un principio nos la presentaron como una construcción puramente de ladrillo y nos permitieron visitar la fábrica. De este modo, tendríamos un total de 11 chimeneas de fábrica de ladrillo en las comarcas estudiadas.

3.2 Metodología empleada en las visitas

En primer lugar fue necesario determinar qué aspectos de las chimeneas iban a ser estudiados. Para ello, se elaboró una ficha de toma de datos, recogida en el *Anexo 1* del presente documento. La ficha de toma de datos puede dividirse en cinco partes: una primera de información general de la chimenea, una segunda de parámetros geométricos y de materiales, una tercera de identificación de defectos por acciones mecánicas, una cuarta de identificación de defectos superficiales de la fábrica y una quinta que resume todos los defectos observados, posibles causas y varias opciones terapéuticas que podrían emplearse. Además, se complementarían la ficha de toma de datos con fotografías y mapas de todos los aspectos señalados hasta el momento.

Una vez elaborada la ficha de toma de datos, fue necesario establecer de qué manera y qué equipo se iba a emplear para medir y observar las chimeneas. Los principales parámetros geométricos eran la altura y el diámetro en la base, para lo que se utilizó una estación total (Fig 3.5) y una cinta métrica, respectivamente, ambos tomados prestados del Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica. La estación total permite medir ángulos y distancias si se tiene como objetivo un prisma.

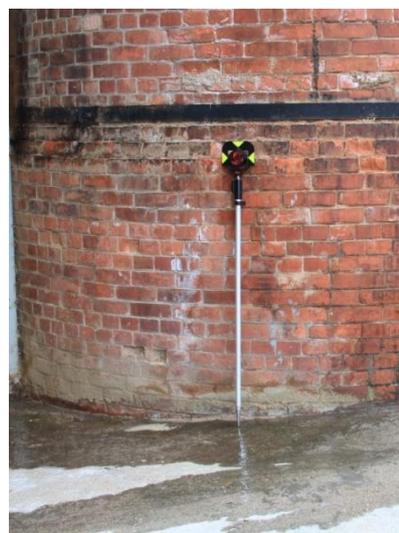


Fig 3.5: Estación total, jalón y prisma empleados en las visitas

A la hora de medir la altura se pensó en dos posibilidades. La primera, que la base fuera accesible. En este caso se situaba el prisma en la base y se hallaba la altura resolviendo un triángulo por método trigonométrico (Fig 3.6), ya que con la estación total obtenemos los valores de los ángulos V_1, V_2 y la distancia d lo que nos permite obtener H . Se es consciente que se comete cierto error ya que el punto *Alto* no está en la misma vertical que el punto *Base* pero si se estaciona lo suficientemente lejos, el error es despreciable, y es más, no se requiere demasiada precisión para el estudio.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

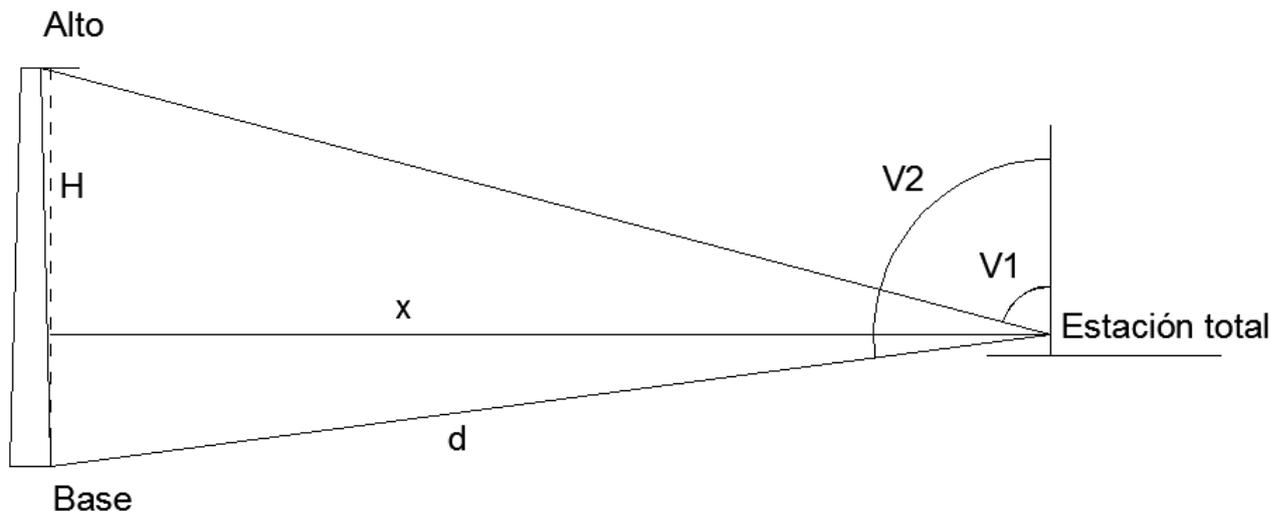


Fig 3.6: Triángulo a resolver para determinar la altura

Si por el contrario, no es posible acceder a la base para colocar el prisma, se utilizará el método conocido en el ámbito de la topografía como *intersección directa* que no deja de ser otro problema geométrico, más complicado que el anterior. En este método son necesarios dos estacionamientos (Fig 3.7), haciendo objetivo al mismo punto desde ambos para poder medir la diferencia de alturas desde uno de ellos hasta el punto objetivo. Si se observan dos puntos, se obtienen las diferencias de altura respecto a un estacionamiento, y se restan, se obtiene la altura de la chimenea.

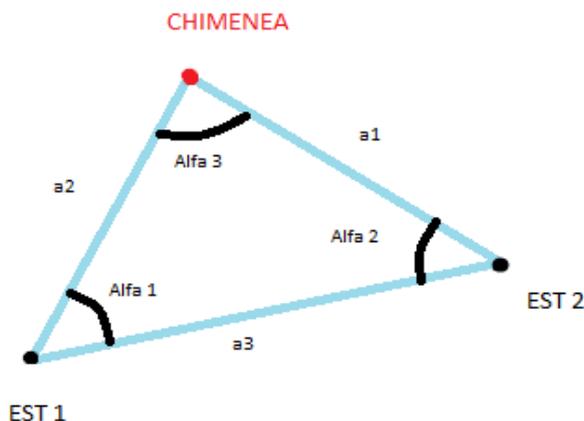


Fig 3.7: Esquema del método de intersección directa

Para la medida del diámetro, en caso que la base no sea accesible y no sea posible hacerlo con la cinta métrica, se mide el ángulo formado entre los límites de la chimenea y conociendo la distancia a la misma, por el método de intersección directa, es posible determinar el diámetro de la chimenea midiendo el ángulo en planta con dos rayos tangentes a la chimenea (Fig 3.8). La siguiente fórmula implícita nos proporciona el valor:

$$r = (x + r) \cdot \sin(\alpha/2) \quad ; \quad \phi = 2 \cdot r$$

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

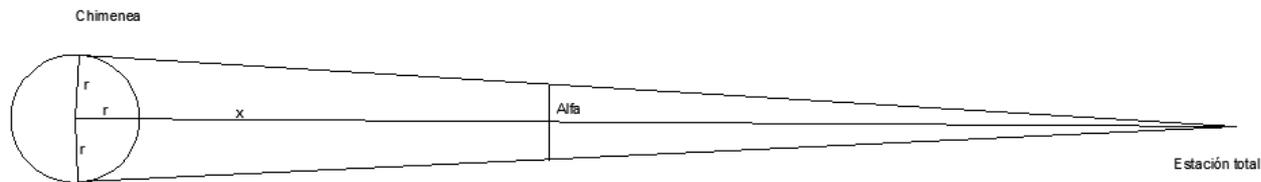


Fig 3.8: Esquema para la determinación del diámetro no siendo accesible la base

Para ordenar todos los datos obtenidos con la estación total el día de las visitas, se elaboró una hoja Excel de toma de datos que se incluye como el *Anexo 2* del presente documento.

Aparte de la estación total, y la cinta métrica, se utilizó una cinta métrica metálica para la medida de las dimensiones de los ladrillos y el espesor de la junta de mortero, una linterna por si fuera posible el acceso a la chimenea y una cámara para la toma de fotos.

Por último, una vez determinado el material necesario para las visitas, se contactó con las entidades responsables de las chimeneas (en caso de haberla) y se preparó un plan de visitas (Tabla 3.2) con el fin de minimizar el número de desplazamientos.

Tabla 3.2 Plan de visitas

Fecha	Chimeneas visitadas
01-abr-16	CHIM_N2
	CHIM_N3
06-abr-16	CHIM_N4
15-abr-16	CHIM_N1
27-abr-16	CHIM_N5
	CHIM_N6
	CHIM_N7
	CHIM_N8
	CHIM_N9
	CHIM_N10
	CHIM_N11
CHIM_N12	

4 ANÁLISIS DE LAS CONSTRUCCIONES VISITADAS

En este capítulo se va a analizar y valorar la información obtenida en las visitas a las chimeneas, que se recoge en las fichas de toma de datos, incluidas en el Anexo 3 del documento. Se divide en dos partes. Por un lado el análisis referente a la geometría y materiales, y por el otro, la caracterización de procesos patológicos junto a posibles acciones terapéuticas aplicables a las fábricas. La manera de analizarlo ha sido mediante tablas y gráficos para la mayor claridad de los datos.

4.1 Características geométricas y constructivas

4.1.1 Análisis de datos

En primer lugar, se presenta una tabla que recoge los parámetros más importantes que se han caracterizado de las chimeneas (Tabla 4.1), con su media, su varianza, su coeficiente de variación y el porcentaje, según la naturaleza del parámetro.

En la siguiente tabla (Tabla 4.2) se puede ver la tipología del aparejo utilizado en la cara exterior de las chimeneas.

Tabla 4.1: Parámetros geométricos y de materiales medidos

Chimenea	Nombre	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Lado (cuadrada) (cm)	Esbeltz	Altura de la base (cm)	Espesor	¿Zunchado?	Separación media zunchos (cm)	¿Inclinación?	Soga (cm)	Tizón (cm)	Grueso (cm)	Espesor de junta de mortero (cm)
N1	Ecoreto	3897	407		9,57			1	108	1	26	12,5	7	1,25
N2	La Cavada	2102	270		7,79	240					25	12	5,5	2
N3	Sarón	2786		250	11,14					1				
N5	Nestares	1644	220		7,47		60				24	12	5	1,5
N6	Arroyo Circular	1061	215		4,93	130	86				24	11,5	6,5	1,5
N7	Arroyo Rectangular	1505		150	10,03						26	12	6,5	1,75
N8	Requejo	1597	215		7,42	300								
N9	Pequeña Forja	2201	337		6,53	65		1	180		26,5	12	4,5	0,75
N10	Saneado y Tratamientos	2752	359		7,66	70		1	196		24	11,5	5	0,75
N11	Gran Forja	2980	420		7,1	58		1	106		24	11,5	6,5	1,5
N12	Laminación	2887	337		8,56		80	1			24,5	11,5	6,5	1
Media		2310	309	200	8	144	75		148		25	12	6	1
Desviación típica		833	81	71	1,73	103	14		47,23		1,024	0,354	0,894	0,433
Coefficiente de variación		0,361	0,264	0,354	0,216	0,715	0,181		0,320		0,041	0,030	0,152	0,325
Porcentaje								56		18				

Tabla 4.2: Tipología del aparejo constructivo en el paramento visible de la chimenea

Chimenea	Nombre	Aparejo exterior
N1	Ecoreto	3 sogas y 3 tizones
N2	La Cavada	Tizones
N3	Sarón	Inglés
N5	Nestares	Tizones
N6	Arroyo Circular	Inglés
N7	Arroyo Rectangular	Inglés
N8	Requejo	Inglés
N9	Pequeña Forja	Flamenco
N10	Saneado y Tratamientos	Flamenco
N11	Gran Forja	3 sogas y 3 tizones
N12	Laminación	3 sogas y 3 tizones

Ambas tablas se resumen en las dos siguientes (Tabla 4.3 y Tabla 4.4) en las que se muestran cada uno de los parámetros y sus estadísticos más relevantes y el porcentaje de los aparejos empleados en la construcción.

Tabla 4.3: Resumen de los estadísticos de los parámetros

Parámetro	Media	Varianza	Coefficiente de variación	Porcentaje
Altura (cm)	2310,18	832,91	0,36	
Diámetro (cm)	308,89	81,48	0,26	
Lado (cuadrada) (cm)	200,00	70,71	0,35	
Esbeltez	8,02	1,73	0,22	
Altura de la base (cm)	143,83	102,82	0,71	
Espesor	75,33	13,61	0,18	
¿Zunchado?				56
Separación media	147,50	47,23	0,32	
¿Inclinación?				18
Soga (cm)	24,89	1,02	0,04	
Tizón (cm)	11,83	0,35	0,03	
Grueso (cm)	5,89	0,89	0,15	
Espesor de junta de mortero (cm)	1,33	0,43	0,32	

Tabla 4.4: Resumen de los aparejos exteriores

Aparejo	Número	Porcentaje
3 sogas y 3 tizones	3	27,3
Tizones	2	18,18
Inglés	4	36,36
Flamenco	2	18,18
	11	100,0

4.1.2 Valoración de datos

En primer lugar, destaca que solamente 2 de las 11 chimeneas estén construidas con un aparejo a tizón ya que, tal y como se indica en el Estado del Arte, el manual de De las Rivas y López (1905) menciona que estas chimeneas están típicamente construidas con este aparejo. No obstante, el resto de aparejos ofrecen una traba entre las hojas por lo que pueden constituir una estructura más potente que trabaje de manera solidaria. De hecho, las 2 chimeneas con aparejo a tizón presentan agrietamientos (CHIM_N2 y CHIM_N4), como se verá más adelante.

La altura media de las chimeneas es de 23,1 metros con una varianza de 8,32 metros. Esto indica que hay bastante heterogeneidad en lo que a alturas se refiere pero si se analizan una a una, se observa que, a excepción de la chimenea circular de Arroyo (CHIM_N6) que se presumía que pudiera haber tenido un acortamiento por el deterioro del coronamiento, todas las chimeneas

tienen alturas superiores a los 15 metros. Se recuerda que la altura para lograr un *tiro* eficaz debe ser, como mínimo, 15 metros.

En cuanto a la esbeltez, es un parámetro adimensional bastante homogéneo, pues si se eliminan las chimeneas cuadradas (más esbeltas) y la CHIM_N6, se observa que todas las esbelteces están en el rango de 6,5 y 9,5. También se observa, que en general, a chimeneas de mayor altura les corresponde esbelteces mayores.

Aunque solamente se tienen 3 datos de espesores de la fábrica en la parte inferior, este dato se incluye porque la variación entre ellos es bastante pequeña. Es más, si se divide el espesor entre una dimensión típica de tizón (11,5 cm), se deduce que las chimeneas cuentan con un espesor en la base entre 5 y 7 tizones.

También se observa que el 56% de las chimeneas circulares contaban con algún zuncho metálico, dispuestos en el orden de cada metro o cada dos metros. A su vez, el 18% de las chimeneas presentaban algún tipo de desplome en el coronamiento.

En relación a los materiales de la fábrica, las dimensiones de los ladrillos son bastante homogéneas. Donde sí se aprecia mayor variación es en el espesor de la junta de mortero. Esto puede deberse a que cada equipo de construcción seguía una metodología y unos criterios propios. También puede comprobarse, como se verá más adelante, que las chimeneas con menor espesor de mortero presentan menores defectos de desagregación o erosión eólica. In situ, se presiente que están mejor construidas y con ladrillos de mejor calidad; aunque se presume que fueron construidas en épocas posteriores a las demás. A las chimeneas a las que se hace aquí referencia son la de Ecoreto (CHIM_N1) y las de Gerdau (CHIM_N9 – CHIM_N12).

4.2 Defectos por acciones mecánicas y superficiales

4.2.1 Lesiones típicas de las chimeneas de ladrillo

En general, pueden distinguirse tres grupos de lesiones diferenciables dentro de las chimeneas de ladrillo: inclinaciones, fisuras y alteraciones de los materiales que la conforman, Tabla 4.5 (Bosia et al. 2001; Díaz y Gumà 1999; Pistone et al 1996; Pistone et al. 1997). La fuente de la tabla es Lombillo et al. 2016.

GRUPO	SUBGRUPO	CAUSAS
INCLINACIÓN DE LOS CONDUCTOS	Rotación rígida desde la base	<ul style="list-style-type: none"> Deficiente cimentación consecuencia de la degradación de los ladrillos provocada por la humedad de capilaridad. Asentamiento diferencial.
	Desde una altura determinada	<ul style="list-style-type: none"> Por variaciones volumétricas de los materiales formes de la fábrica.
	Inclinación del tramo superior del tubo hacia el sur	<ul style="list-style-type: none"> Las juntas de mortero de la fábrica orientada hacia el norte se expandan más que las orientadas hacia el sur (por secarse el agua susceptible de condensarse en el interior del tubo más rápidamente al sur).
	Inclinación según la dirección y el sentido del viento húmedo dominante	<ul style="list-style-type: none"> El viento provoca la penetración de la humedad por la porosidad de la fábrica.
	Inclinación según la dirección del viento seco o cálido dominante y en el sentido contrario a dicho viento	<ul style="list-style-type: none"> Caso contrario al anterior.
FISURAS	Fisuras verticales en los tubos	<ul style="list-style-type: none"> Durante el uso por la importante tensión radial interior de origen térmico (humos a $T^{\text{a}} \approx 200^{\circ}\text{C}$) que se comunica en determinadas secciones a la sección exterior de la chimenea (pudiéndola afectar localmente). Fuera de uso, por efecto de una fatiga asociada con gradientes térmicos anti-simétricos (sector sometido a radiación solar y sector expuesto al norte), junto con el progresivo debilitamiento del material expuesto a las condiciones ambientales. Aplica fundamentalmente a las zonas norte de las chimeneas y durante mañanas frías de invierno soleadas.
	Fisuras horizontales en los tubos	<ul style="list-style-type: none"> Por efecto de acciones dinámicas horizontales como la acción eólica o el sismo. En general, dichas fisuras no son visibles (microfisuras) pero constituyen vías de entrada de agua, susceptible de congelarse, favoreciendo el deterioro físico-mecánico gradual de los materiales.
	Fisuras en las bases	<ul style="list-style-type: none"> Generalmente coinciden con secciones débiles (p. ej. coincidentes con la bocana de la galería).
	Fisuras y daños en el remate superior del tubo	<ul style="list-style-type: none"> Descargas eléctricas de los rayos.
ALTERACIONES DE LOS MATERIALES DE LA FÁBRICA	Variaciones volumétricas de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> Aumentos de volumen (y tensiones asociadas) por cristalización de sulfatos. Fuerte relación con porosidad. Se presentan especialmente en el tramo superior de los tubos y en los remates de coronamiento.
	Exfoliaciones de los ladrillos cerámicos	<ul style="list-style-type: none"> Se producen preferentemente en los tramos superiores y en las zonas afectadas por el viento salino y la humedad. La combustión del carbón genera CO₂, SO₂, vapor de agua, y calor. Como ya es sabido el CO₂ y el SO₂ combinados con agua pueden producir líquidos ácidos, carbónicos o sulfurosos, capaces de alterar químicamente (reaccionar con CaO, NaO, MgO y sulfoaluminatos) los materiales presentes en la fábrica cerámica que conforman los conductos. Acción hielo-deshielo.
	Disgregación del mortero de las juntas	<ul style="list-style-type: none"> 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. Alteraciones químicas producidas por líquidos ácidos, carbónicos o sulfurosos.
	Alteraciones del color de los materiales de la fábrica.	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de eflorescencias. Fijación de suciedad asociada a los productos de la combustión expulsados por la chimenea y del contenido de impurezas de la atmósfera (más frecuentes y visibles en áreas geográficas fuertemente polucionadas).
	Presencia de vegetación	<ul style="list-style-type: none"> Puede generar daño mecánico por acción de las raíces Favorece la retención de humedad y, por ende, la degradación de los materiales.

4.2.2 Análisis de datos

Al igual que con los parámetros geométricos y constructivos, se presentan los datos obtenidos en las visitas en relación a los defectos por acciones mecánicas y superficiales. Los datos se presentan en tablas y en figuras.

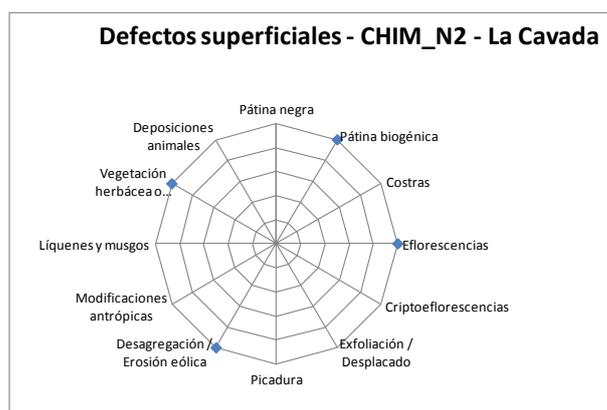
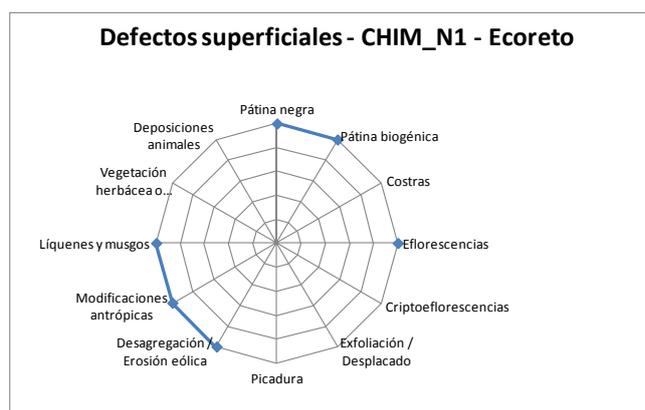
Es conveniente destacar que los agrietamientos que se han observado eran verticales posiblemente causados por acciones térmicas, bien por un proceso de fatiga por el calentamiento de la fábrica, o bien, por tracciones derivadas de la presión interior de los gases (menos probable). Existe una excepción y es el agrietamiento en zig-zag de la chimenea de La Cavada (CHIM_N2). Se presenta una tabla (Tabla 4.6) con lo comentado acompañada de los datos de altura y esbeltez por si pudiera obtenerse alguna relación.

Tabla 4.6: Resumen de defectos por acciones mecánicas

Chimenea	Nombre	¿Fisuras verticales?	¿Tratadas?	Altura (cm)	Esbeltez
N1	Ecoreto	1	1	3897	9,57
N2	La Cavada			2102	7,79
N3	Sarón	1		2786	11,14
N5	Nestares			1644	7,47
N6	Arroyo Circular			1061	4,93
N7	Arroyo Rectangular	1		1505	10,03
N8	Requejo			1597	7,42
N9	Pequeña Forja			2201	6,53
N10	Saneado y Tratamientos			2752	7,66
N11	Gran Forja	1	1	2980	7,1
N12	Laminación			2887	8,56

Porcentaje	36,36	50
-------------------	--------------	-----------

A continuación, se muestran los defectos superficiales presentes en cada una de las chimeneas tanto en gráficos de dispersión (Fig 4.1) como en tabla (Tabla 4.7). También se muestra un resumen de la dispersión de los defectos superficiales en forma de tabla (Tabla 4.8) y de figura (Fig 4.2).



Defectos superficiales - CHIM_N3 - Sarón



Defectos superficiales - CHIM_N5 - Nestares



Defectos superficiales - CHIM_N6 - Arroyo Oeste (Circular)



Defectos superficiales - CHIM_N7 - Arroyo Este (Cuadrada)



Defectos superficiales - CHIM_N8 - Requejo



Defectos superficiales - CHIM_N9 - Pequeña Forja



Defectos superficiales - CHIM_N10 - Saneado y Tratamientos



Defectos superficiales - CHIM_N11 - Gran Forja



Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

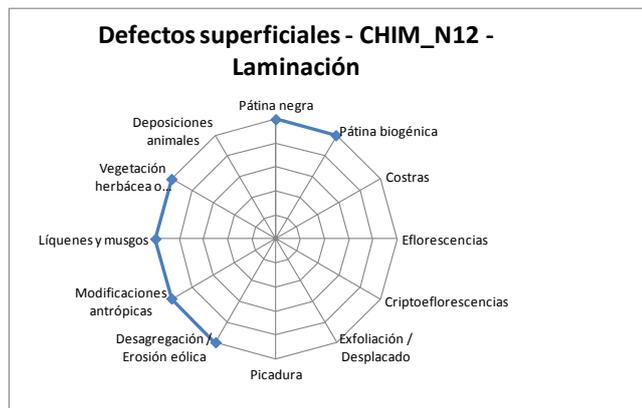


Fig 4.1: Dispersión de los defectos superficiales en las chimeneas estudiadas

Tabla 4.7: Defectos superficiales presentes en cada una de las chimeneas

Chimenea	Nombre	Pátina negra	Pátina biogénica	Costras	Eflorescencias	Criptoflorescencias	Exfoliación / Desplacado	Picadura	Desagregación / Erosión eólica	Modificaciones antrópicas	Líquenes y musgos	Vegetación herbácea o arbustiva	Deposiciones animales
N1	Ecoreto	1	1		1				1		1		
N2	La Cavada		1		1				1				1
N3	Sarón	1			1				1				
N5	Nestares				1				1				1
N6	Arroyo Circular	1	1						1		1		
N7	Arroyo Rectangular	1	1				1		1		1		1
N8	Requejo				1				1				
N9	Pequeña Forja	1			1				1		1		
N10	Saneado y Tratamientos	1							1		1		
N11	Gran Forja	1			1				1		1		
N12	Laminación	1	1						1		1		1
Porcentaje		73	45	0	64	0	9	0	100	64	27	36	0

Tabla 4.8: Resumen de defectos superficiales

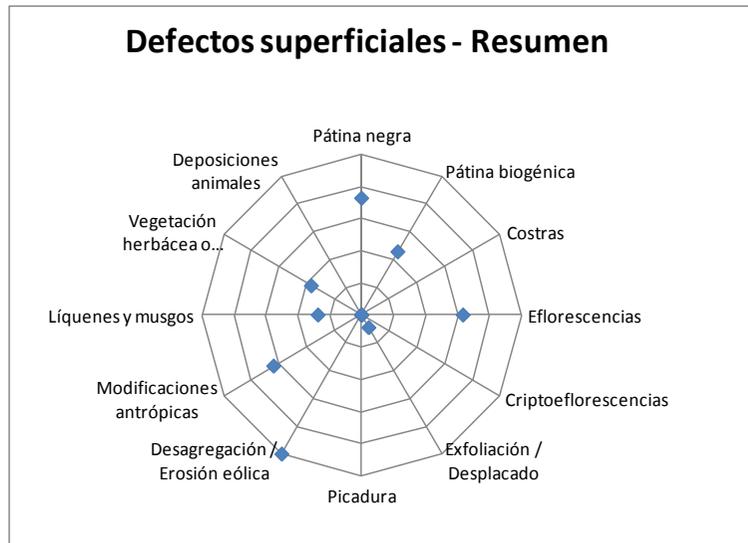


Fig 4.2: Gráfico de dispersión de los defectos superficiales

RESUMEN DE DEFECTOS SUPERFICIALES	
Defecto	Porcentaje presente
Pátina negra	73
Pátina biogénica	45
Costras	0
Eflorescencias	64
Criptoflorescencias	0
Exfoliación / Desplacado	9
Picadura	0
Desagregación / Erosión eólica	100
Modificaciones antrópicas	64
Líquenes y musgos	27
Vegetación herbácea o arbustiva	36
Deposiciones animales	0

4.2.3 Valoración de datos

Respecto a las fisuras verticales, éstas están presentes en 4 de las 11 chimeneas. Se ha visto con anterioridad que la sección típica de las chimeneas en planta es circular ya que distribuye mejor los esfuerzos. Por tanto, no resulta extraño que las dos chimeneas de sección cuadrada contengan este tipo de grietas. De hecho, la chimenea de Sarón (CHIM_N3) contiene la grieta más importante en la fachada norte (Fig 4.3), por lo que es probable que esté asociada a un proceso de fatiga por gradientes térmicos anti-simétricos, agravado a su vez por las acciones provocadas por una especie arbustiva.



Fig 4.3: Grieta en la fachada norte de la chimenea en Sarón (CHIM_N3)

En cuanto a las chimeneas circulares, se observa que aquellas que presentan agrietamientos verticales son las dos de mayor altura con espaciado de zunchos metálicos del orden de 1 metro por lo que es posible suponer que estas chimeneas estuvieron expuestas a grandes cargas durante su funcionamiento, pudiendo ocasionar dichas grietas. Además, los agrietamientos en estas chimeneas están tratados, por lo que es aún más posible que se produjeran durante la vida útil y que fueran reparadas para poder seguir siendo utilizadas.



Fig 4.4: Fisura tratada en la chimenea Gran Forja (CHIM_N11). Se aprecia la plastificación del zuncho coincidiendo con la fisura

En cuanto a los defectos superficiales, sin lugar a dudas, el proceso patológico más común en las chimeneas, estando presente en la totalidad de todas las chimeneas, es la desagregación. Esto se debe a que para que se produzca basta con que el viento salino o la humedad afecte a la

chimenea, agravándose en los tramos superiores donde está más expuesta a la erosión del viento.

También es bastante habitual la pátina negra, presente en el 73% de las construcciones. Es un defecto habitual en este tipo de construcciones debido a la naturaleza de los gases expulsados, provenientes de la combustión de carbón, principalmente.

No es extraño que las chimeneas cuenten con alguna modificación antrópica pues suponen un apoyo a una altura importante y es relativamente sencillo la instalación de algún elemento auxiliar por la dureza de los materiales formes de la fábrica.

Además, se encuentran en un porcentaje del 64% eflorescencias en la fábrica causadas por la migración y evaporación de agua que contiene sales solubles. Otros tipos de alteración al color de la fábrica (Fig 4.5) son la pátina biogénica y los musgos, originados por la acumulación de humedad y agua.



Fig 4.5: Alteraciones en el color de la fábrica. Acumulación de agua y humedad por la cercanía al canalón

En ocasiones es posible que se acumulen nutrientes en las juntas de mortero, suficientes para la creación de un protosuelo donde crecen las especies casmofíticas, poblándose así de vegetaciones herbáceas y arbustivas.

4.3 Terapéutica aplicable de carácter general

A la hora de aplicar ciertas acciones terapéuticas, hay que diferenciar, tal y como hemos venido haciendo, en lesiones de carácter mecánico y en defectos superficiales. Se proponen unas medidas correctoras de carácter general recogidas en tablas. La primera (Tabla 4.9) está presente en Díaz y Guma (1999) y recoge la terapéutica frente a acciones mecánicas. La segunda (Tabla 4.10), de elaboración propia, tiene como fuente apuntes didácticos de Lombillo (2016a).

Tabla 4.9: Terapéutica aplicable ante lesiones mecánicas (Díaz y Gúma 1999)

ACTUACIONES	• APLICACIÓN DE SELLADORES CON FUNCIÓN ADHERENTE	• ZUNCHADOS	• RELLENOS INTERIORES AUTORRESISTENTES	• REDUCTORES DE ESBELTEZ	• RECALCES
PATOLOGÍAS			• ALMAS METÁLICAS	• APUNTALAMIENTOS PERMANENTES	
			• FORROS INTERIORES		
• 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	
• 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	
• 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	
• 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

Tabla 4.10: Terapéutica aplicable ante defectos superficiales. Elaboración propia

PATOLOGÍAS	ACTUACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Patina biogénica 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocidas • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Aplicación de hidrofugantes
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación
<ul style="list-style-type: none"> • Desplacado 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Líquenes y musgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de biocidas. Remover previamente con una espátula y aplicar hipoclorito de litio en solución acuosa
<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica

5 CASO DE ESTUDIO: CHIMENEA DE ECoreto EN VILLAVERDE DE PONTONES

El capítulo está dividido en tres partes bien diferenciadas. En primer lugar, se describirá la chimenea a estudiar y se expondrán sus generalidades. En segundo, se ha llevado a cabo una campaña experimental sobre la fábrica con el fin de obtener los parámetros mecánicos de la chimenea y calcular la resistencia característica. En tercer lugar, y en base a los parámetros mecánicos obtenidos, se ha construido un modelo de elementos finitos que trate de simular el comportamiento real de la chimenea ante diferentes acciones.

Es necesario comentar, que ante la falta de parámetros mecánicos en la chimenea de estudio, se han utilizado los parámetros obtenidos en ensayos realizados en una chimenea de características similares, también situada en la región de Cantabria.

5.1 Generalidades

La chimenea está situada en la fábrica de pellets Ecoreto, propiedad de la Asociación Reto a la Esperanza. La fábrica está situada en el cruce entre la CA-146 y la CA-422 (Fig 5.1), en el entorno municipal de Ribamontán al Monte en la comarca de Trasmiera.

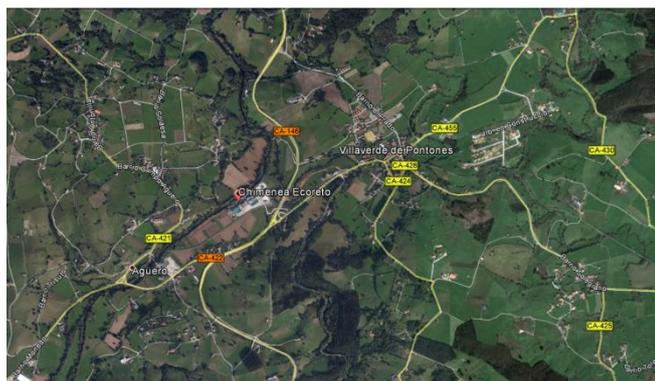


Fig 5.1: Localización en planta de la fábrica

Se cree que la factoría fue tradicionalmente una industria lechera, según fuentes, aunque no se está seguro de esta información con total certeza.

La chimenea tiene una altura total de 39 metros, con una diámetro en la base de 4 metros y 2 metros en la coronación. Presenta un estado de conservación aceptable, salvo una inclinación en el coronamiento (Fig 5.4), y los agrietamientos han sido reparados (Fig 5.5). Además, está zunchada con pletinas metálicas en todo el fuste (Fig 5.2) con una separación media del orden de 1 metro, con menor separación a medida que se avanza en altura.

La chimenea tiene un pararrayos instalado por la empresa Antuñas S.L. (Fig. 5.3) (<http://www.antunasl.com/>) con una antigüedad de más de 50 años por lo que se data la construcción posterior a los años 50.

Los ladrillos son de buena calidad y son ligeramente curvos por lo que se deduce que se utilizaron moldes especiales. El aparejo utilizado es poco común, siendo de hiladas de 3 sogas y 3 tizones que se alternan en todo el fuste de la chimenea, hasta la coronación. Esta tipología es bastante interesante porque permite la traba entre las hojas de la fábrica, permitiendo un trabajo más solidario entre ellas.



Fig 5.2: Zunchado de la chimenea en todo el fuste



Fig 5.3: Placa de la empresa encargada de la instalación del pararrayos



Fig 5.4: Desplome del coronamiento de la chimenea



Fig 5.5: Aparejo constructivo y tratamiento de agrietamientos verticales

5.2 Campaña experimental

La campaña experimental consiste en la caracterización mecánica de los materiales de la fábrica, en la determinación de manera estimada del estado tensional en la base de la chimenea, en la determinación de los parámetros mecánicos de la fábrica de ladrillo y en el cálculo de resistencia característica de la fábrica.

Para ello, como ya se ha referido en el aparato de “Metodología y Objetivos” se presentan los resultados de una serie de ensayos realizados sobre una chimenea de la misma tipología² tanto en laboratorio como in-situ. Dichos ensayos cuentan con la particularidad de tratarse de ensayos ligeramente destructivos (MDT o *Minor Destructive Tests* en terminología anglosajona) que cada vez se utilizan más para la estimación de las características mecánicas en fábricas sin que supongan un peligro a la integridad estructural del patrimonio construido.

5.2.1 Caracterización mecánica de los materiales formes de la fábrica

Como parte de los trabajos realizados en el presente estudio, se planteó la caracterización de los materiales formes de la chimenea. Para ello, a partir de la extracción de fragmentos de ladrillos y morteros existentes, se procedió a determinar la resistencia a compresión de los ladrillos y, en menor medida, la de los morteros formes de dicha construcción, dada las dimensiones de las muestras extraídas.

5.2.1.1 Morteros

Con objeto de conocer la resistencia a compresión del mortero presente en la fábrica, se extrajeron fragmentos de mismo con vista a obtener, en laboratorio, una resistencia aproximada de este material (Fig. 5.6).



Fig 5.6: Fragmentos de mortero extraídos de la chimenea

Dado que, por un lado, el mortero existente se deshacía fácilmente al tratar de extraerlo y, por otro, el reducido espesor de los tendeles, solo fue posible extraer tres fragmentos (3u) de cierta dimensión. De éstos, solo una muestra pudo ser ensayada debido que las restantes no disponían de dimensiones suficientes.

En cuanto a su composición, aparentemente, se trata de un mortero fabricado con arena de tipo silíceo, como relleno, en los que se ha utilizado cal como material conglomerante. Los morteros manifiestan fácil disgregación frente a la presión.

Para llevar a cabo la caracterización mecánica de la muestra de mortero se emplea la metodología denominada “confinamiento de muestras”, estudiado y desarrollado por Magalhaes et al. Previo a la realización del ensayo de compresión fue necesario confinar la muestra de mortero

² Se tiene preparada en área de ensayos en la chimenea objeto de estudio (Chimenea de Ecoreto en Villaverde de pontones), si bien por razones de logística, ajenas al autor, los ensayos no se han podido realizar con anterioridad a la presentación del presente Trabajo Fin de Grado. Éstos se ejecutarán en el próximo otoño de 2016.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

extraída de la fábrica de la chimenea. Para ello, empleando un molde especial, con las dimensiones apropiadas para emplear el correspondiente utillaje de la máquina de compresión empleada en el método especificado por la norma EN 1015-11, se colocó la muestra tomada in situ en su interior dentro de un mortero resistente autocompactante (“mortero de confinamiento”). El “mortero de confinamiento”, aplicado en fresco sobre la muestra, debe ser más resistente que los especímenes extraídos. En este caso, su dosificación en volumen fue de 1:3 (cemento CEM II 32,5:arena silíceo). Adicionalmente, de la misma amasada del citado mortero de confinamiento se confeccionaron 3 probetas normalizadas de 40x40x160mm, las cuales también fueron ensayadas a compresión con objeto de evaluar la posible influencia del mortero de confinamiento sobre los resultados a obtener con los morteros antiguos.

A los 28 días de curado del mortero se llevó a cabo el ensayo de compresión directa, en el que se obtuvo el valor de resistencia a compresión (f_m). Para ello se empleó una Prensa WYKEHAM FARRANCE con una capacidad de carga de 5 toneladas (Fig 5.7). Se dispuso de dos células de carga, una de 0,5kN para los ensayos de las muestras confinadas, y otra de 50kN para los ensayos de compresión de las muestras de mortero de confinamiento. La resistencia a compresión de este último se determinó aplicando la norma UNE-EN 1015-11. En ambos casos, la carga se aplicó sin aceleraciones bruscas, a una velocidad uniforme de entre 10N/s y 50N/s, de tal modo que la rotura se produjese entre los 30s y 90s de iniciado el ensayo. Una vez alcanzado este instante, se registró la carga máxima aplicada. La Fig 5.8 recoge los resultados obtenidos para la muestra confinada.



Fig. 5.7. Desarrollo del ensayo a compresión de la muestra de mortero confinado.

Por su parte, referir que la porción de mortero extraída de la fábrica presentó un grosor variable. Se intentó obtener más de una muestra de ensayo pero, debido a su cohesión insuficiente, no fue posible. Este hecho limitó la representatividad de los resultados obtenidos en este caso.

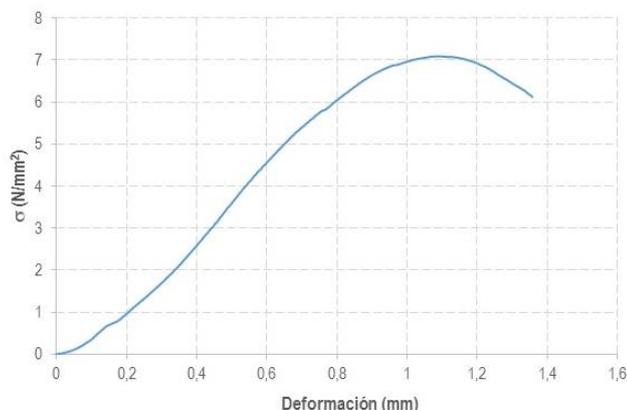


Fig 5.8. Gráfico de comportamiento tensión-deformación de la muestra de mortero confinada. Carga de rotura alcanzada de 7,09 N/mm².

Nota: Dado que la muestra extraída de la fábrica era más pequeña que el área del utillaje de compresión ($A_u=40\text{mm}\times 40\text{mm}=1600,00\text{mm}^2$), el área de contacto de la misma se determinó como el promedio de las áreas de cada una de las superficies (superior e inferior) de la muestra ($A_{prom.}=1552,78\text{mm}^2$).

Los resultados alcanzados arrojaron que el valor de resistencia a compresión del mortero de confinamiento ($17,18\text{ N/mm}^2$) fue mayor que la obtenida para el mortero antiguo confinado ($7,09\text{ N/mm}^2$). Ello confirmó el adecuado empleo de la dosificación del mortero de confinamiento (obtención de un material más resistente frente a la muestra de mortero extraída de la fábrica de ladrillo), y la no influencia en los resultados de la muestra confinada.

Una vez obtenida la resistencia a compresión de la muestra de mortero confinada se empleó la ecuación de correlación obtenida por Magalhaes et al., con objeto de obtener la resistencia a compresión por el método normalizado.

$$f_{c1} = f_{c2} \cdot 0.8052 - 0.0051$$

Donde:

f_{c1} : resistencia a compresión con el método normalizado

f_{c2} : resistencia a compresión con mortero de confinamiento

Una vez evaluada la ecuación con la resistencia a compresión con mortero de confinamiento ($7,09\text{ N/mm}^2$) se obtuvo una resistencia a compresión con el método normalizado de **5,70 N/mm²**.

De los resultados obtenidos puede concluirse que:

- Aunque está claro que la determinación de la resistencia a compresión de las muestras irregulares de mortero con el método mencionado no proporciona un valor absoluto exacto, sí permite obtener valores aproximados con fines comparativos.
- La composición seleccionada del "mortero de confinamiento" no afectó a los resultados. No obstante, se precisa una calibración adicional para evaluar la posible influencia que el grosor de la muestra puede tener en los resultados.
- No fue posible preparar más de una muestra del mortero existente en la fábrica de ladrillo debido a la cohesión insuficiente del mortero, lo que limitó la representatividad de los resultados obtenidos.
- Conviene destacar la importancia de realizar ensayos de caracterización física y mecánica para evaluar de forma objetiva el estado de conservación, ya que en algunos casos la inspección visual da lugar a clasificaciones erróneas.

5.2.1.2 Ladrillos

Los ladrillos, fabricados mediante técnicas hoy en día artesanales, a simple vista, presentan una relativa heterogeneidad.

De la inspección visual de estos materiales, puede esperarse una baja densidad, una alta porosidad y una alta capacidad de absorción. En cuanto a la influencia de esta porosidad en la durabilidad del material, estos macroporos pueden ser el origen de posibles procesos patológicos debidos al envejecimiento, principalmente, por ciclos de hielo-deshielo (con la consecuente erosión mecánica). Observando la estructura de la chimenea, pueden detectarse ladrillos que han sufrido cierta meteorización.

Los elementos ensayados en la investigación corresponden en su mayoría a medias piezas ladrillos, las cuales fueron extraídas de uno de los laterales de la chimenea.

Según el EC 6, los ladrillos extraídos de la chimenea son unidades de arcilla, pertenecientes a la categoría I, grupo 2.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

La resistencia a compresión de las piezas de ladrillo se determinó según el procedimiento descrito en la ASTM C67: Método de prueba estándar para el muestreo y las pruebas de ladrillo y tejas de arcilla para construcción. Los ensayos se realizaron sobre 4 probetas con objeto de disponer de resultados más representativos.

Previo al inicio del ensayo, las muestras de ladrillo fueron refrentadas con un compuesto de sulfuro (azufre) de empleo común para la presente actividad (Fig 5.9). Para ello, se eliminó con anterioridad cualquier partícula o material adherido a las caras de la probeta. Seguidamente, se procedió a ensayar cada muestra por separado registrando para cada caso la carga máxima del ensayo de compresión. Éstos fueron realizados empleando una máquina de ensayos hidráulica marca Suzpecar Servosis, con una capacidad máxima de 150 T. En la Fig 5.10 puede observarse la disposición de una de las muestras ensayadas a compresión en los platos de la prensa.



Fig 5.9: Refrentado de las muestras de ladrillo.

Fig 5.10: Disposición de una de las muestras de ladrillo en la prensa de ensayo.

La aplicación de la carga se realizó sin aceleraciones, aumentándose progresivamente a un ritmo comprendido entre 2500N/s, con objeto de que la rotura se produjese entre los 30s y 90s de iniciado el ensayo. Una vez obtenida la carga máxima, ésta era registrada. La Fig 5.11 muestra, a modo de ejemplo, el ensayo realizado en la probeta 1.



Fig 5.11: Ensayo de compresión realizado en la probeta 1.

Por su parte, la resistencia a compresión, en N/mm^2 , se determinó dividiendo la carga máxima soportada por la probeta por su sección transversal. La Tabla 5.1 recoge los resultados alcanzados para las 4 muestras. Posteriormente, se determinó la media de los valores ensayados, indicándose la desviación estándar (s) y el coeficiente de variación (ρ). Señalar que el valor de ρ obtenido de las piezas de ladrillo (9,49%), muestra una buena homogeneidad en los valores de resistencia alcanzados.

Tabla 5.1: Tabla resumen de ensayo a compresión de ladrillo.

Muestra	Medidas (mm)	Rotura (N)	Resistencia (N/mm ²)	Valor Medio (f _b)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (ρ)
1	118 x 70 x 60	228,00	27,60	31,21	2,96	9,49
2	118 x 66 x 60	234,00	30,05			
3	115 x 99 x 60	376,00	33,03			
4	116 x 105 x 60	416,00	34,15			

Por tanto, la **resistencia mecánica a compresión de los ladrillos** es mucho más homogénea de lo que cabría esperar en piezas artesanales de la época. Así, presentan una **resistencia media a compresión de 31,21 N/mm²**.

5.2.2 Sondeo

En cuanto al sondeo, señalar que se detectó una masa de ladrillo continua durante los 0,635 m iniciales. Posteriormente, el taladro avanzó en el vacío 0,045 m, y seguidamente se detectó 0,12 m de ladrillo. Por tanto, el espesor registrado fue de 0,80 m. La Fig 5.12 recoge la posición en la que la perforación fue realizada, así como el material extraído.



Fig. 5.12: Perforación 2 realizada (izq.) y detalle de las muestras obtenidas (dcha.).

Para la exploración del **sondeo** se tomaron una secuencia de imágenes (Fig 5.13 a - f), ilustradas consecuentemente del interior al exterior de la chimenea, lo cual permitió corroborar la presencia de la cámara anteriormente comentada (Fig 5.13 a-c). Asimismo, pudo comprobarse que, de manera general, el tramo contiguo a la cámara cuenta con la presencia de una fábrica homogénea (Fig 5.13 e-f). No obstante, es de señalar, que en una zona en particular se detectó la presencia de una discontinuidad en el material (Fig 5.13 d), la cual puede estar asociada al lavado del mortero durante la realización de la perforación.

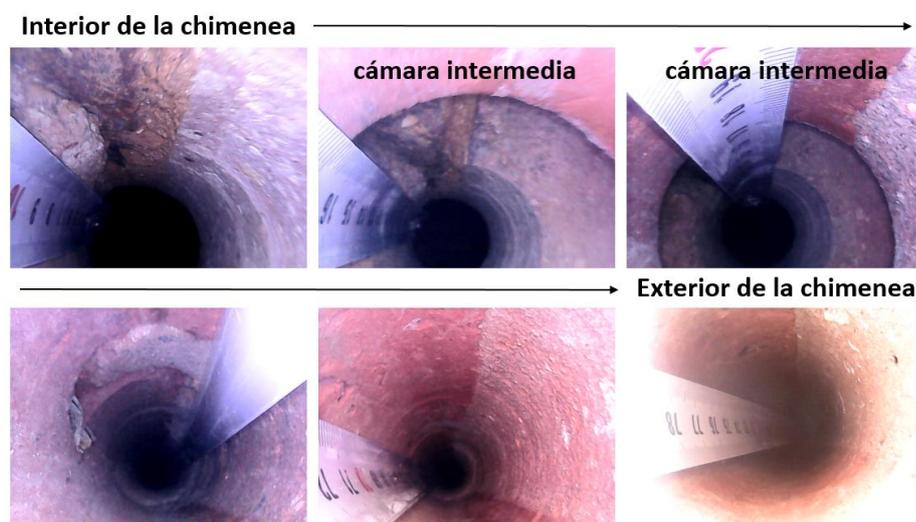


Fig 5.13: Secuencia de imágenes tomadas durante la exploración endoscópica del sondeo

5.2.3 Ensayos ligeramente destructivos practicados. Técnica de los gatos planos.

5.2.3.1 Bases teóricas.

El ensayo de gatos planos (Flat Jacks en terminología anglosajona) es un método directo e in situ que requiere solamente la remoción de una porción de mortero de las juntas de una fábrica pétreo o de ladrillo, por ello que se considera un ensayo ligeramente destructivo al ser un daño temporal y fácilmente reparable después de realizar el ensayo.

Se emplea para la evaluación no destructiva de algunas propiedades mecánicas y de deformabilidad de los materiales que conforman la estructura de fábrica.

5.2.3.1.1 Antecedentes

El ensayo de gato plano proviene del campo de la mecánica de las rocas. Fue inventado por el ingeniero francés Eugene Freyssinet en 1934 y a principios de los años 80 el investigador italiano Paolo Rossi, adaptó el método para poderlo emplear en fábricas de ladrillo y mampostería.

5.2.3.1.2 Objetivos de ensayo

El objetivo de la técnica del gato plano consiste en obtener información estimativa y fiable sobre los siguientes parámetros:

- Estimación del estado tensional de compresión en una zona muy local de la estructura.
- Estimación de las características de deformabilidad (módulo de deformación y coeficiente de Poisson) de los materiales que la forman.

El ensayo queda dividido en dos fases, en la primera, se utiliza un gato plano para estimar el estado tensional de compresión en el punto elegido de la estructura; en la segunda fase, se emplean dos gatos planos con el fin de estimar las características de deformabilidad del material existente entre los dos gatos planos citados.

Existen varias normativas vigentes para la evaluación de fábricas mediante la técnica de gatos planos. En Europa, se emplea la normativa RILEM aprobada en 1990 (RILEM LUM.D.2: "In-situ

stress tests on masonry based on the flat jack”; RILEM LUM.D.3: “In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat-jack”).

Un gato plano, en general, consiste en dos planchas de acero inoxidable soldadas a lo largo de las esquinas con uno o dos puertos de entrada y salida, que conectados a un circuito hidráulico con bomba son capaces de suscitarle una presión interna.

Se puede fabricar con diferentes formas y tamaños. Las dimensiones actuales están determinadas por su función, por la técnica empleada para preparar la hendidura y por las propiedades de la fábrica que va a ser ensayada. Una regla general para obtener resultados representativos del estado de tensión real del conjunto de la fábrica es emplear el mayor tamaño posible de gato plano. Un gato plano ideal ha de rellenar completamente la hendidura en la junta de mortero, si un gato plano no tiene la dimensión suficiente para rellenar la roza por completo, se emplean placas de relleno.

5.2.3.1.3 Descripción del ensayo

El ensayo con gato plano se lleva a cabo en dos fases. En primer lugar se determina el estado tensional a compresión de la fábrica y en la segunda, las características de deformabilidad.

No es necesario y a menudo no es posible poner en carga todo el grosor de la pared, dado los grandes espesores que pueden alcanzar los muros de fábrica antiguos. No obstante, en todos los casos ha de ser ensayada al menos una de las hojas de la fábrica. Los resultados obtenidos se refieren solamente a la hoja que ha sido ensayada.

5.2.3.1.3.1 Estimación *in situ* del estado tensional a compresión

Este ensayo está basado en el principio de liberación parcial de tensiones. Implica la eliminación local de tensiones, seguida de una restitución controlada del nivel de tensiones eliminado (Fig 5.14).

Inicialmente se colocan sobre la estructura unas bases verticales de medida midiéndose la distancia d_i entre puntos por medio de un comparador. A continuación, se realiza un corte normal entre los dos puntos mencionados empleando una sierra con disco de diamante u otro útil de corte adecuado. Debido al reajuste tensional, la distancia d existente entre dichos puntos será menor que la inicial: $d < d_i$. Con posterioridad se coloca un gato plano en el corte realizado, conectándose a una bomba hidráulica para, seguidamente, incrementar gradualmente la presión en el gato (Fig 5.15) hasta que se recupera la distancia original existente entre los puntos de medida $d = d_i$.

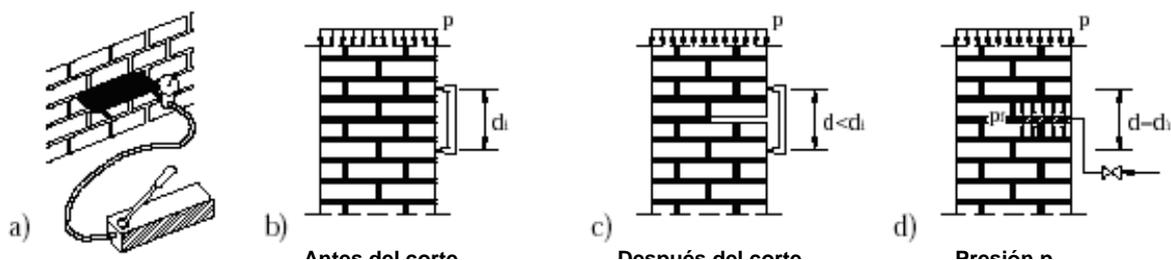


Fig 5.14: Fases del ensayo de la medida del estado de tensión

En este punto la presión en el interior del gato plano (p_i) puede relacionarse con el estado tensional preexistente en la dirección normal al plano de corte (p). Dicho estado tensional en un punto de la estructura se calcula según la expresión:

$$\sigma = p \cdot K_m \cdot K_a \quad (1)$$

donde:

- p : Presión comunicada al gato plano por la bomba hidráulica, en Kp/cm^2 ,
- K_m : Constante adimensional propia de cada gato plano
- K_a : Relación entre el área de contacto del gato plano y el área media del corte realizado en la estructura ($K_a < 1$).

Los gatos planos están diseñados para suministrar una presión a la fábrica donde son ensayados, linealmente dependiente de la presión hidráulica interna. Dicha dependencia se explicita mediante la constante adimensional K_m determinada durante el proceso de calibración, función de las propiedades geométricas del gato plano y de su rigidez. Dicha constante siempre es menor que la unidad ($K_m < 1$) pues por la rigidez inherente al dispositivo parte de la presión interna es absorbida por el propio gato plano y por ende no es transmitida a la fábrica circundante.

En gatos planos nuevos, el coeficiente de calibración K_m viene proporcionado por el fabricante. Si bien debido al uso repetido, los gatos planos sufren un ablandamiento que exige sean recalibrados después de 4 ó 5 ensayos o con mayor frecuencia si existen deformaciones excesivas. Los gatos planos deberían ser restituidos a su espesor después de cada ensayo para asegurar que el factor de calibración permanece inalterado.

En relación a la constante K_a , los puntos de contacto pueden obtenerse situando entre el gato plano y la superficie de las placas de relleno de la roza un calco (lámina de papel carbonoso) dispuesto entre dos láminas de papel ordinario. El papel es marcado en los lugares de contacto, contrariamente a lo que ocurre en los sitios de no contacto. De esta forma puede obtenerse el factor K_a como la relación entre la zona de contacto y el área del gato plano por mera geometría.

5.2.3.1.3.2 Determinación de las características de deformabilidad

En este ensayo se realizan dos cortes normales a la superficie de la estructura de estudio a una distancia entre ellos, en general, de 40-50 cm. Previamente se sitúan unas bases verticales de medida, de la forma más simétrica posible sobre la fábrica, dentro de la zona comprendida entre los futuros cortes, a una distancia determinada mediante comparador.

A continuación se realizan dos cortes paralelos para insertar los gatos planos. Estos cortes producen el aislamiento de la parte del muro de fábrica existente entre las rozas constituyendo una "probeta" in situ que se considera liberada de cargas.

Una vez introducidos los gatos planos en los cortes (Fig 5.16), se comunican pequeños escalones de presión mediante bomba hidráulica, se tomará lectura de la distancia entre puntos de referencia d_i ($d_i < d$) para cada escalón de presión i .



Fig 5.15: Ensayo de gato plano simple en un muro de ladrillo en el Laboratorio de Estructuras de la UC (Colaboración GTED - AIDICO)



Fig 5.16: Ensayo de gato plano doble en el Seminario Mayor de Comillas, Cantabria (Colaboración GTED - AIDICO)

Mediante incrementos graduales de la presión puede determinarse la relación entre tensión y deformación. También pueden simularse ciclos de carga-descarga.

El valor estimado de la tensión, en la zona delimitada por los gatos planos, para cada estado de presión i se calcula de la misma forma, ecuación (1) que en el ensayo de tensión in situ aludido con anterioridad. Para cada escalón de presión i corresponderá una deformación que se calcula mediante la expresión:

$$\varepsilon_i = (d - d_i) \cdot K_e \quad (2)$$

donde:

- ε_i : Deformación correspondiente al estado de presión del escalón i .
- d : Distancia inicial existente entre los puntos de referencia.
- d_i : Distancia entre puntos de referencia para el escalón de presión i .
- K_e : Constante de deformación del comparador.

Estimada la presión y deformación para cada uno de los escalones de presión i , se puede dibujar la gráfica tensión-deformación que permite estimar el módulo de elasticidad para cada uno de los escalones de presión i , según la ecuación:

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (3)$$

donde:

- σ_i : Tensión correspondiente al estado de presión i (Kp/cm²).
- ε_i : Deformación correspondiente para el estado de presión i .

En el mismo ensayo se puede estimar el coeficiente de Poisson colocando horizontalmente puntos de medida a una distancia inicial D conocida y aplicando unos escalones de presión determinados.

5.2.3.2 Estimación del nivel tensional en la base de la chimenea. Gato plano simple

El ensayo de gato plano simple tuvo la finalidad de determinar el nivel tensional vertical de compresión, perpendicular al plano definido por el gato plano, existente en la hoja externa de la fábrica de ladrillo en la base de la chimenea.

Con posterioridad, en el mismo emplazamiento, se ejecutó un ensayo de gato plano doble para caracterizar mecánicamente la estructura.

5.2.3.2.1 Resultados del ensayo de gato plano simple

En la Fig 5.17a se ha representado el área de ensayo con la finalidad de ubicar la posición de los puntos de control en el conjunto de la fábrica. En la Fig 5.17b se presenta el resultado del ensayo. El nivel tensional, obtenido por interpolación lineal, para el cual se recuperaron las distancias medidas previamente a la ejecución del corte es de **1,55 N/mm²**.

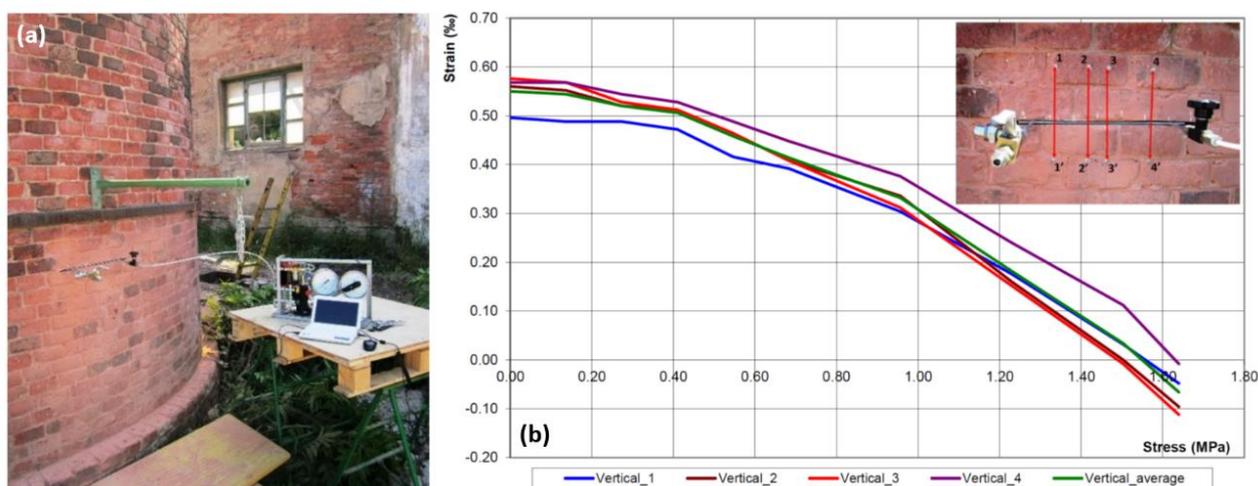


Fig 5.17: (a) configuración general del ensayo. (b) nivel tensional obtenido mediante el ensayo de gato plano simple ejecutado. Fue obtenido una tensión en servicio de 1,55 N/mm².

5.2.3.3 Caracterización mecánica de la fábrica. Gato plano doble

5.2.3.3.1 Resultados de ensayo de gato plano doble

El ensayo tuvo la finalidad de determinar el módulo de deformación y el coeficiente de Poisson de la hoja externa de la fábrica de ladrillo en la base de la chimenea.

En la Fig 5.18a se ilustra una perspectiva de la configuración general del ensayo. En la Fig 5.18b se presentan las leyes tensión – deformación, promedio, obtenidas en el área de ensayo tanto para los puntos de control vertical, como para los horizontales. A partir de la curva anterior puede comprobarse que la misma presenta un comportamiento eminentemente lineal, por ello que en el ensayo no pudo ser estimado ni el límite elástico de la fábrica y mucho menos la tensión de rotura. Ahora bien, cabe referir que durante el ensayo se alcanzó un valor máximo de la presión instalada en el gato plano de 50 Ba (**tensión equivalente en la chimenea de 3,35 N/mm²**) no apareciendo fisuras verticales en el área ensayada, circunstancia que apunta a que **la resistencia de la fábrica alcanza valores superiores al referido.**

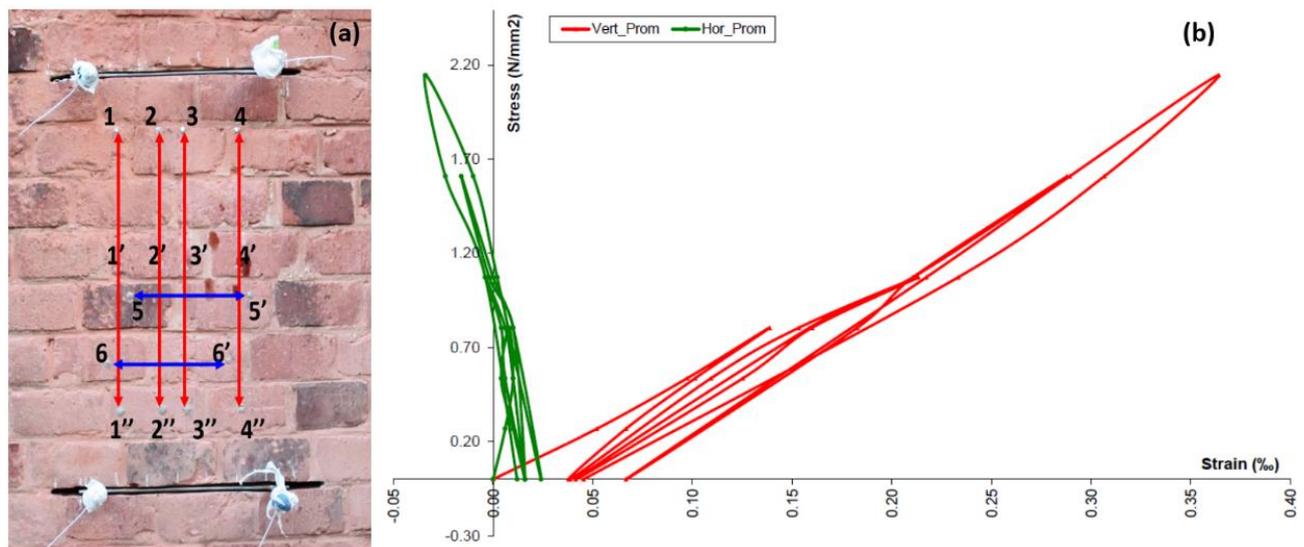


Fig 5.18: (a) localización de los puntos de control. (b) leyes σ - ϵ promedio obtenidas mediante gato plano doble.

Igualmente, a partir de las curva obtenida puede estimarse para dicha fábrica de ladrillo las características mecánicas, módulo de deformación secante y coeficiente de Poisson. Dichos parámetros alcanzaron un valor de **6519 N/mm²** y **0,10** respectivamente.

5.2.4 Resistencia característica a compresión de la fábrica

Una vez determinado los valores de resistencia normalizada media a compresión de las piezas y la resistencia a compresión del mortero, se procedió a determinar la **resistencia característica a compresión de la fábrica** a partir de normativas de referencia y por formulaciones propuestas por otros autores.

5.2.4.1 Eurocode 6. Proyecto de estructuras de fábrica

La resistencia característica a compresión se determina, por un lado, teniendo en cuenta la resistencia normalizada media a compresión de las piezas, f_b , y la resistencia a compresión del mortero, f_m , (ecuación 3.2 - EC6), y por otro, disponiendo solo de la resistencia de las piezas, f_b (ecuación - 3.4 - EC6).

- Para fábricas asentadas con mortero ordinario y mortero ligero.

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

donde:

f_k : resistencia característica a compresión de la fábrica, en N/mm²

K : 0,35. Pieza de fábrica: Arcilla cocida, Mortero ordinario: Grupo 3.Tabla 3.3 – EC6

f_b : resistencia normalizada media a compresión de las piezas, en N/mm²

f_m : resistencia a compresión del mortero, en N/mm²

Una vez evaluadas las ecuaciones anteriores se obtienen los siguientes resultados:

- Para fábricas asentadas con mortero ordinario y mortero ligero:

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} = 6,56 \text{ N/mm}^2$$

Por ende la **resistencia de cálculo**, considerando un coeficiente de seguridad de 2,5 (habitual en estructuras de fábrica) nos arroja un valor de **2,62 N/mm²**.

5.2.4.2 Norma Básica de la Edificación NBE-FL90 “Muros resistentes de fábrica de ladrillo”

La norma de referencia dice: “Si no se realiza ensayo a compresión de la fábrica, la tensión de agotamiento puede evaluarse en función de: la resistencia del ladrillo, la resistencia a compresión del mortero (apartado 3.2.2), la plasticidad del mortero (apartado 3.2.3) y el espesor de las juntas, tomándose los valores prescritos en la Tabla 5.1 si se emplea ladrillo macizo”.

A la vista de la resistencia a compresión de los ladrillos y considerando el mortero de menores prestaciones que recoge la normativa (M-20) tendríamos una **resistencia de cálculo**, ver Tabla 5.2 siguiente, en el entorno de los **2,50 – 2,80 N/mm²**.

5.2.4.3 British Standard BS5628: Part1: 1978. Code of practice for Structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry

La BS5628 aporta un gráfico (Fig. 5.19) y una tabla para estimar la resistencia característica a compresión de la fábrica a partir de la resistencia a compresión de las piezas y del mortero.

De esta forma, considerando el mortero de menores prestaciones que recoge la normativa (M-iv) tendríamos una resistencia característica, ver gráfica siguiente, en el entorno de los 6,70 N/mm².

Por ende la **resistencia de cálculo**, considerando un coeficiente de seguridad de 2,5 (habitual en estructuras de fábrica) nos arroja un valor de **2,68 N/mm²**.

Tabla 5.2: Tabla tomada de la Norma Básica de la Edificación NBE-FL90 “Muros resistentes de fábrica de ladrillo”

Tabla 5.1. Resistencia de cálculo de las fábricas de ladrillo macizo

Resistencia del ladrillo kg/cm ²	Plasticidad del mortero	Espesor de las juntas en cm	Resistencia de cálculo f _d de la fábrica, en kg/cm ² con mortero				Espesor de las juntas en cm	Plasticidad del mortero	Resistencia del ladrillo kg/cm ²
			M-20	M-40	M-80	M-160			
100	magra	> 1,5	12	14	16	•			
	magra	1,5 a 1	14	16	18	•			
	sograsa	> 1,5							
	magra	< 1	16	18	20	•			
	sograsa	1,5 a 1					> 1,5	magra	
	grasa	> 1,5					1,5 a 1	magra	
150	sograsa	< 1	18	20	22	25			
	grasa	1,5 a 1					> 1,5	sograsa	
	grasa	< 1	20	22	25	28			
	magra	> 1,5					< 1	magra	
	magra	1,5 a 1	22	25	28	32			
	sograsa	> 1,5					1,5 a 1	sograsa	
200	magra	< 1	25	28	32	36			
	sograsa	1,5 a 1					< 1	grasa	
	grasa	> 1,5					> 1,5	magra	
	sograsa	< 1	28	32	36	40			
	grasa	1,5 a 1					1,5 a 1	magra	
	grasa	> 1,5					> 1,5	sograsa	
300	grasa	< 1	32	36	40	45			
							< 1	magra	
							1,5 a 1	sograsa	
							> 1,5	grasa	
							< 1	sograsa	
							1,5 a 1	grasa	
			36	40	45	50			
			40	45	50	56			

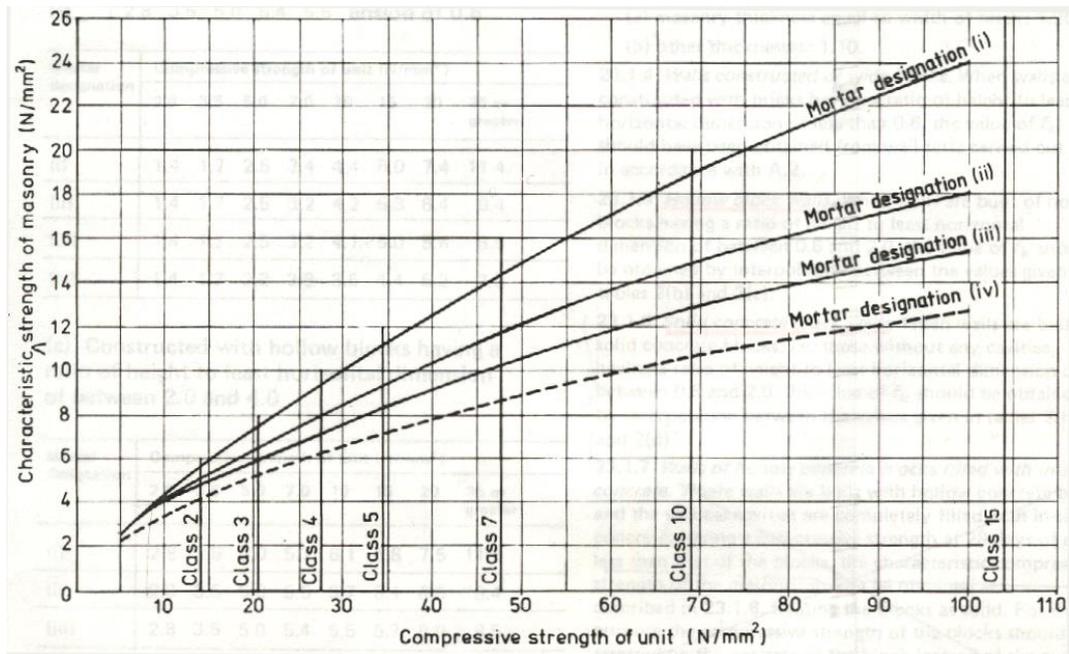


Fig 5.19: Gráfico tomado de la British Standard BS5628: Part1: 1978. Code of practice for Structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry

5.2.4.4 p.i.e.t. 70

La p.i.e.t. 70 aporta la Tabla 5.3 para estimar la resistencia de cálculo a compresión de la fábrica a partir de la resistencia a compresión de las piezas y del tipo de mortero.

Tabla 5.3: Tabla tomada de la p.i.e.t. 70

TABLA II.1.1.2.2.1 a
RESISTENCIA DE CALCULO DE LAS FABRICAS DE LADRILLO MACIZO

Resistencia del ladrillo (kp/cm ²)	Plasticidad del mortero	Espesor de las juntas (cm)	Resistencia de cálculo σ^* de la fábrica, en kp/cm ² , con mortero:					Espesor de las juntas (cm)	Plasticidad del mortero	Resistencia del ladrillo (kp/cm ²)
			M-5	M-10	M-20	M-40	M-80			
70	magra	> 1,5	8	9	10	11	12	—	magra	100
	magra	1,5 a 1	9	10	11	12	14	—		
	sograsa	> 1,5	9	10	11	12	14	—		
	magra	< 1	10	11	12	14	16	—		
	sograsa	1,5 a 1	10	11	12	14	16	—		
150	grasa	1,5 a 1	11	12	14	16	18	—	magra	200
	grasa	> 1,5	11	12	14	16	18	—	sograsa	
	magra	< 1	12	14	16	18	20	—	magra	
	sograsa	1,5 a 1	12	14	16	18	20	—	sograsa	
	grasa	> 1,5	12	14	16	18	20	—	grasa	
300	magra	> 1,5	14	16	18	20	22	25	25	25
	magra	1,5 a 1	14	16	18	20	22	25	28	28
	sograsa	< 1	16	18	20	22	25	28	32	32
	sograsa	1,5 a 1	16	18	20	22	25	28	32	36
	grasa	> 1,5	18	20	22	25	28	32	36	40
300	magra	< 1	20	22	25	28	32	36	40	45
	magra	1,5 a 1	20	22	25	28	32	36	40	45
	sograsa	< 1	22	25	28	32	36	40	45	50
	sograsa	1,5 a 1	22	25	28	32	36	40	45	50
	grasa	> 1,5	25	28	32	36	40	45	50	56

De esta forma, considerando un mortero de reducidas prestaciones (M-5 o M10) tendríamos una **resistencia de cálculo** en el entorno de los **2,20 – 2,50 N/mm²**.

5.2.4.5 Formula de Ohler

A continuación se adjunta una simplificación de la fórmula fenomenológica de Ohler para el ámbito de las estructuras históricas:

$$f = 0,75 \cdot \frac{a \cdot f_b}{1 + 10 \cdot b \cdot \alpha}$$

Donde:

f es la resistencia a compresión de la fábrica

f_b es la resistencia a compresión de las piezas

α la relación entre el alto de la pieza y el espesor de los tendeles

a y b los parámetros de la envolvente trilineal de Ohler

En la Tabla 5.4 siguiente se adjuntan los valores de a y b en función de α .

Tabla 5.4: Valores de a y b en función únicamente de α

α	a	b
$\alpha \leq 0,02$	1,000	2,218
$0,02 < \alpha < 0,15$	0,811	0,960
$\alpha > 0,15$	0,662	0,662

Teniendo en cuenta que para la fábrica de ladrillo existente en la chimenea se tienen relaciones entre el alto de la pieza y el espesor de los tendeles del orden de $\alpha = \frac{h_m}{h_b} = \frac{0,50}{6} = 0,08$ (ver Fig 5.20), tenemos que la resistencia a compresión de la fábrica de ladrillo es de 31,21 N/mm²:

$$f = 0,75 \cdot \frac{a \cdot f_b}{1 + 10 \cdot b \cdot \alpha} = 0,75 \cdot \frac{0,811 \cdot 31,21 \text{ N/mm}^2}{1 + 10 \cdot 0,96 \cdot 0,08} = 10,54 \text{ N/mm}^2$$



Fig. 5.20: Relación entre el alto de la pieza y el espesor de los tendeles.

Por lo que la **resistencia de cálculo**, considerando un coeficiente de seguridad de 2,5 nos arroja un valor de **4,22 N/mm²**.

5.2.4.6 Resumen

Seguidamente, se resume la información expuesta en la siguiente tabla:

	EC6	NBE-FL90	BS 5628:1978	p.i.e.t. 70	Ohler
f_k (N/mm ²)	6,56	-	6,70	-	10,54
f_u (N/mm ²)	2,62	2,50-2,80	2,68	2,20-2,50	4,22

Como orden de magnitud de la **resistencia de cálculo de la fábrica**, f_u , podría adoptarse la media de los valores presentados que toma un valor de **2,90 N/mm²**.

5.3 Modelación de la chimenea por elementos finitos

5.3.1 Descripción del programa utilizado

El programa utilizado es **SAP2000 v18**, desarrollado por Computers and Structures Inc. El funcionamiento básico de los programas de elementos finitos, con pequeñas variaciones entre ellos, es el siguiente:

- Configuración del entorno de trabajo, unidades, normativa, etc.
- Definición de materiales
- Definición de secciones, elementos área y elementos sólidos. Asignación de materiales a estos elementos
- Definición geométrica del modelo mediante barras (frames), áreas (shells) o sólidos (solids). Restricciones y condiciones de contorno

- e) División del modelo en un número finito de elementos.
- f) Definición de cargas y combinación de acciones
- g) Cálculo, obtención y análisis de resultados.

En nuestro caso, la chimenea se ha modelado con un asistente del programa para silos y estructuras de almacenamiento. El elemento utilizado para modelarla es un elemento de área, en concreto *Shell-Thick* que se caracteriza por tener en cuenta todos los esfuerzos en el elemento. Se ha considerado también un tronco de cono hueco, de espesor variable y lineal.

El sistema de unidades será Kilonewtons, metros y °C

5.3.2 Parámetros de entrada al modelo

Los parámetros que se han utilizado en el modelo son los siguientes. Se ordenan en tablas para mejor comprensión.

Tabla 5.5: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LA FÁBRICA			
Tipo de material	Isótropo	Densidad	$19 \text{ kN}/\text{m}^3$
Módulo de elasticidad	$6,5 \times 10^6 \text{ kPa}$	Coefficiente de conductividad térmica de la fábrica	$0,64 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$
Coefficiente de Poisson	0,1	Coefficiente de dilatación térmica lineal	$6,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Módulo de elasticidad transversal	$2,955 \times 10^6 \text{ kPa}$	Coefficiente de película del aire	$15 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
Coefficiente de conductividad térmica de ladrillo refractario	$1,00 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$		

Tabla 5.6: Parámetros físicos de los ladrillos según su densidad

3.1.2 Materiales artificiales o suelos tratados

Material	Materiales artificiales o suelos tratados			
	ρ kg/m^3	λ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	c_p $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$	μ
Arcilla cocida para piezas de albañilería ⁽¹⁾	$2300 < \rho \leq 2400$	0,90	1000	10
	$2200 < \rho \leq 2300$	0,85	1000	10
	$2100 < \rho \leq 2200$	0,79	1000	10
	$2000 < \rho \leq 2100$	0,74	1000	10
	$1900 < \rho \leq 2000$	0,69	1000	10
	$1800 < \rho \leq 1900$	0,64	1000	10
	$1700 < \rho \leq 1800$	0,59	1000	10
	$1600 < \rho \leq 1700$	0,55	1000	10
	$1500 < \rho \leq 1600$	0,50	1000	10
	$1400 < \rho \leq 1500$	0,46	1000	10
	$1300 < \rho \leq 1400$	0,43	1000	10
	$1200 < \rho \leq 1300$	0,39	1000	10
	$1100 < \rho \leq 1200$	0,35	1000	10
	$1000 < \rho \leq 1100$	0,32	1000	10
	$\rho \leq 1000$	0,29	1000	10
Piedra artificial	$\rho \leq 1750$	1,30	1000	40
Tierra apisonada, adobe, bloques de tierra comprimida	$1770 \leq \rho \leq 2000$	1,10	-	-

Diámetro exterior en la parte inferior de la chimenea	4 m	Espesor en la parte inferior de la chimenea	0,65 m
Diámetro exterior en la parte superior de la chimenea	2 m	Espesor en la parte superior de la chimenea	0,25 m
Altura	39 m	Tipología de apoyos en la base	Empotramientos

5.3.3 Cargas y combinaciones

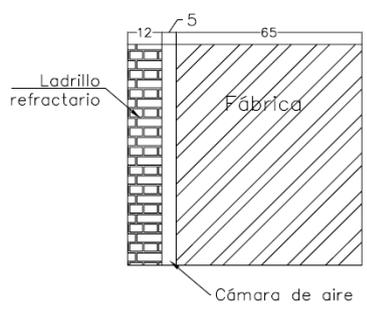
En cuanto a las cargas:

1- Peso propio: Carga permanente. Debido a la hipótesis adoptada de estrechamiento progresivo en toda la altura de la chimenea, el peso propio del modelo es ligeramente menor; ya se vio en el Estado del Arte que las chimeneas se construyen por fases verticales o rollizos. No obstante, la hipótesis de estrechamiento progresivo puede ser más adecuada en cuanto a comportamiento estructural se refiere, pues las zonas obviadas en el modelo no tienen función estructural, sino constructiva.

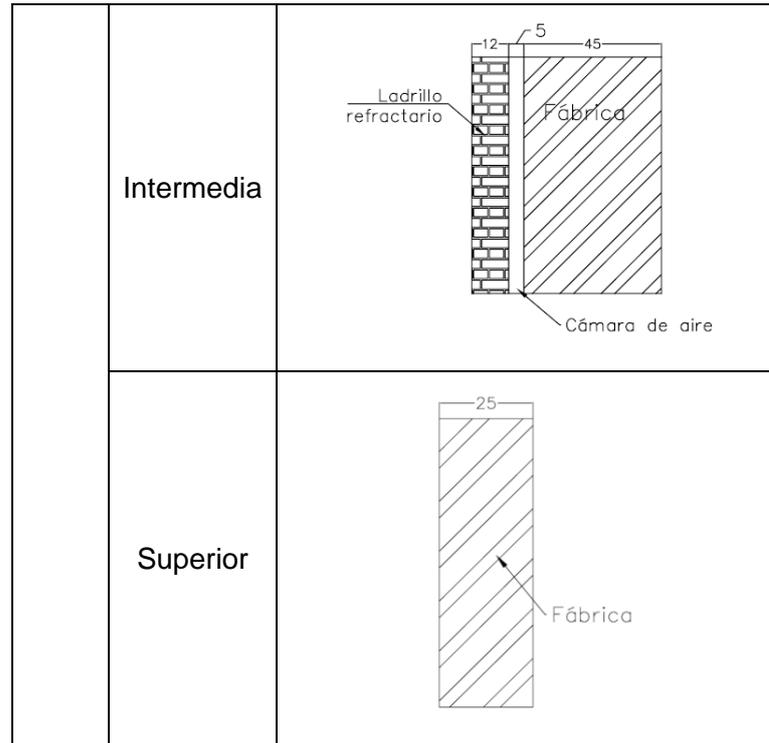
2- Efecto del sol: En una mitad de la chimenea realizando un corte con un plano vertical que contenga al eje de la misma se considera una temperatura de la fábrica de 20°C y en la otra mitad 0°C. Esta situación puede producirse en un día de invierno a primeras horas de la mañana, en la que la cara no expuesta al sol, por la inercia térmica de la fábrica, se mantiene a baja temperatura mientras que la cara expuesta al sol se calienta.

3- Gradiente térmico: Tal y como se explicó en el Estado del Arte, la temperatura de trabajo de las chimeneas suele ser de 300 °C. Como hipótesis, se divide la chimenea en altura en 3 partes iguales, cada una de 13 metros. Las secciones transversales de la chimenea en cada una de las partes es la siguiente:

Tabla 5.8: Secciones transversales en cada una de las divisiones consideradas

Zona	Inferior	
------	----------	--

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.



Seguidamente, con la analogía a la resistencia eléctrica se calcula la temperatura en el paramento interior y exterior de la fábrica. Se ha supuesto la sección infinitamente extensa en sentido vertical, y no es del todo incorrecto en tanto en cuanto el espesor de la sección es pequeño comparado con la altura. En la siguiente Tabla 5.9 se pueden ver las temperaturas consideradas, así como los gradientes.

Tabla 5.9: Gradientes y temperaturas

Zona	Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura media	Gradiente
Inferior	247 °C	34 °C	140,5 °C	-327,7 °C/m
Intermedia	231 °C	38 °C	134,5 °C	-429 °C/m
Superior	300 °C	56 °C	178 °C	-976 °C/m

4- Viento según CTE-DB SE-AE: La presión estática se rige por la siguiente fórmula:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

siendo,

q_b la presión dinámica del viento. Puede tomarse $0,5 \text{ kN/m}^2$ en todo el territorio español.

c_e el coeficiente de exposición. Se considera un grado de aspereza del entorno tipo III y $z=39$ metros

D.2 Coeficiente de exposición

1 El coeficiente de exposición c_e para alturas sobre el terreno, z , no mayores de 200 m, puede determinarse con la expresión:

$$c_e = F \cdot (F + 7 k) \tag{D.2}$$

$$F = k \ln (\max (z, Z) / L) \tag{D.3}$$

siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Fig 5.21: Cálculo del coeficiente de exposición para alturas mayores a 30 metros según Anejo D del CTE DB SE-AE

$$c_e = 0,19 \cdot \ln(39/0,05) \cdot (0,19 \cdot \ln(39/0,05) + 7 \cdot 0,19) = \mathbf{3,28}$$

c_p el coeficiente eólico o de presión se calcula en las fachadas y en las chimeneas en el apartado 3.3.4 en la tabla 3.5. La esbeltez es la altura entre la anchura, en nuestro caso es mayor de 5.

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coefficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coefficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Fig 5.22: Cálculo de los coeficiente eólicos de presión y succión

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \cdot 3,28 \cdot 0,8 = 1,312 \text{ kN/m}^2 \text{ (presión)}$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,5 \cdot 3,28 \cdot (-0,7) = -1,148 \text{ kN/m}^2 \text{ (presión)}$$

5- Viento extremo: Se ha consultado la distribución de rachas máximas en los últimos 32 años y siguiendo la formulación del Estado del Arte que relaciona presiones estáticas con la velocidad del viento, con $v = 167,04 \text{ km/h}$

$$P = 0,120 \cdot v^2 = 0,120 \cdot \left(167,04 \cdot \frac{1000}{3600}\right)^2 = 258,36 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{2,583 \text{ kN/m}^2}$$

Siguiendo el CTE, se considerará una presión de succión en una relación con la presión igual a 0,7/0,8:

$$P_s = 2,583 \cdot \frac{0,7}{0,8} = 2,26 \text{ kN/m}^2$$

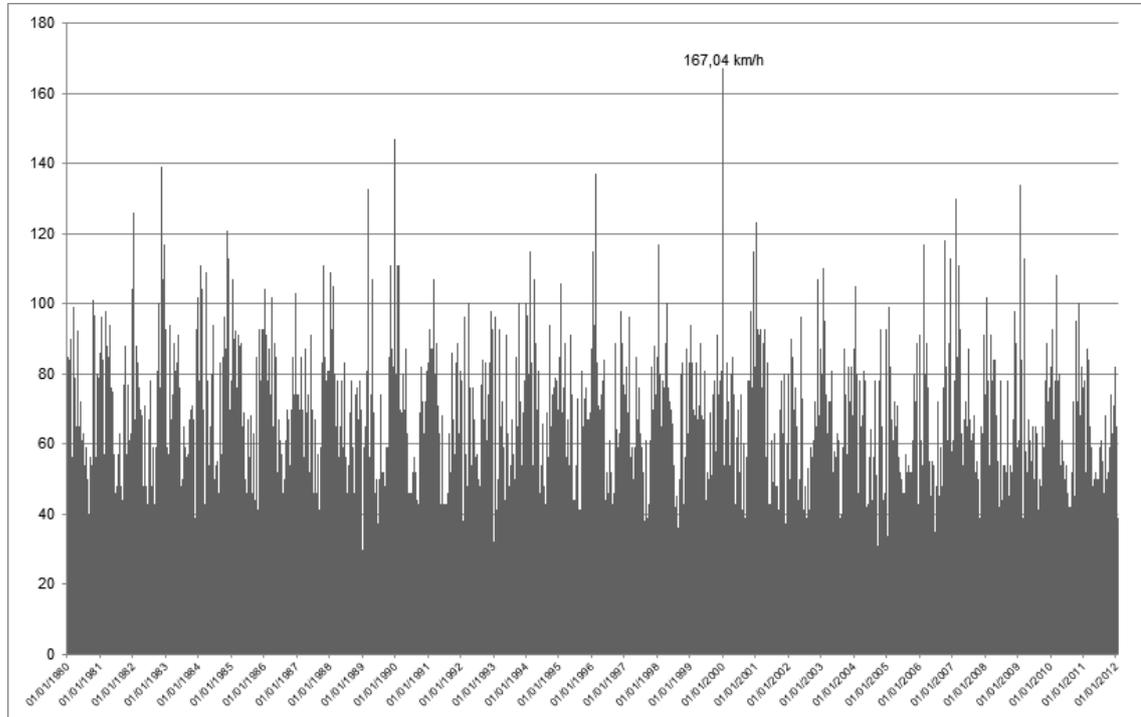


Fig 5.23: Distribución diaria de las rachas eólicas máximas. Serie histórica (01/01/1980 – 31/01/2012) de rachas eólicas diarias máximas (km/h). Datos del Instituto Nacional de Meteorología (Santander).

6- Viento frecuente: En base a la estación meteorológica de El Astillero y a la rosa de vientos, se considerará un viento de 9 m/s. El ensayo de gato plano simple para la determinación del estado tensional de la chimenea se realizó en la cara de sotavento.

$$P = 0,120 \cdot v^2 = 0,120 \cdot \left(167,04 \cdot \frac{1000}{3600}\right)^2 = 9,72 \text{ kg/m}^2 = 0,0972 \text{ kN/m}^2$$

Siguiendo el CTE, se considerará una presión de succión en una relación con la presión igual a 0,7/0,8:

$$P_s = 0,0972 \cdot \frac{0,7}{0,8} = 0,08505 \text{ kN/m}^2$$

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

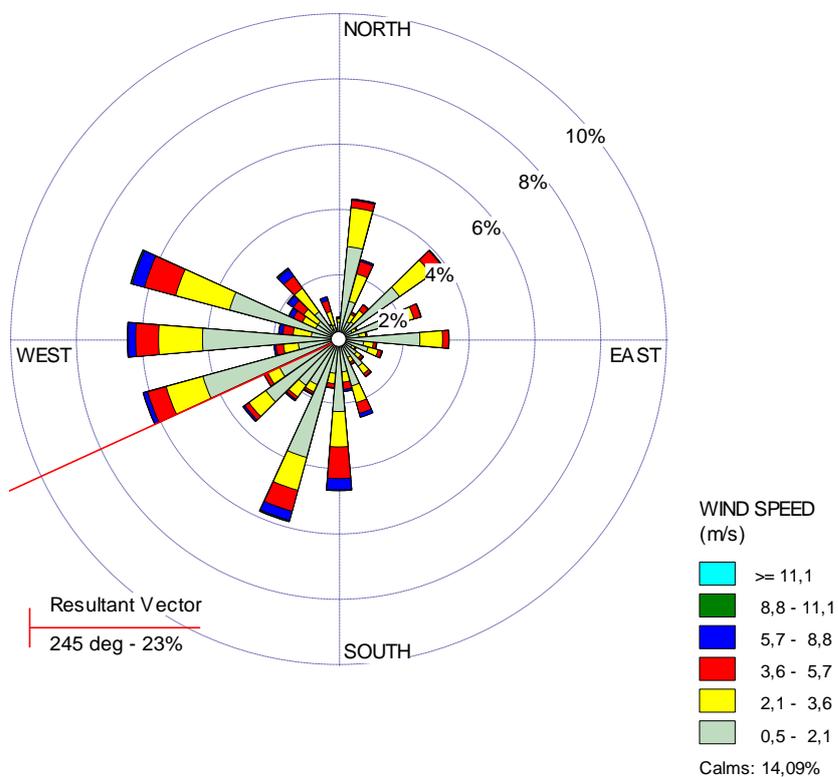


Fig 5.24: ROSA DE VIENTOS: Distribución de frecuencias de direcciones y velocidades del viento (2001-2015). Estación meteorológica en El Astillero

En cuanto a las combinaciones se distinguen dos situaciones: cuando la chimenea estuvo en uso y cuando no lo estuvo. Para ambos casos se aplica la EHE-08 y los coeficientes de simultaneidad del CTE.

Tabla 5.10: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite Últimos

TIPO DE ACCIÓN	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 5.11: Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite de Servicio

TIPO DE ACCIÓN		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	Armadura pretesa	$\gamma_P = 0,95$	$\gamma_P = 1,05$
	Armadura postesa	$\gamma_P = 0,90$	$\gamma_P = 1,10$
Permanente de valor no constante		$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Tabla 5.12: Coeficientes de simultaneidad (Ψ) del CTE

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
•Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
•Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
•Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
•Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
•Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
•Cubiertas transitables (Categoría G)		(1)	
•Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
•para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
•para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

En lo que se refiere al **Estado Límite Último**:

- Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Chimenea en funcionamiento: $ELU1 = 1,35 \cdot DEAD + 1,5 \cdot (VIENTOCTE + 0,6 \cdot GRADIENTE + 0,6 \cdot SOL)$

Chimenea en desuso: $ELU2 = 1,35 \cdot DEAD + 1,5 \cdot (VIENTOCTE + 0,6 \cdot SOL)$

Y en cuanto al **Estado Límite de Servicio**:

Combinación poco probable o característica

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Chimenea en uso: $ELS1 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot (VIENTOEXTREMO + 0,6 \cdot GRADIENTE + 0,6 \cdot SOL)$

Chimenea en desuso: $ELS2 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot (VIENTOEXTREMO + 0,6 \cdot SOL)$

Combinación frecuente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Chimenea en uso: $ELS3 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot 0,5 \cdot VIENTOCTE$

Chimenea en desuso: $ELS4 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot 0,5 \cdot VIENTOCTE$

Combinación cuasipermanente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Chimenea en uso: $ELS5 = 1 \cdot DEAD$

Chimenea en desuso: $ELS6 = 1 \cdot DEAD$

Se añaden dos estados que pretenden evaluar la tensión real en la chimenea en combinación de los estados de carga más desfavorables tanto con la chimenea en uso como en desuso. Se añade un estado adicional, únicamente con peso propio y el viento probable en un día cualquiera.

$$ER1 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot VIENTOEXTREMO + 1 \cdot SOL + 1 \cdot GRADIENTE$$

$$ER2 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot VIENTOEXTREMO + 1 \cdot SOL$$

$$ER3 = 1 \cdot DEAD + 1 \cdot VIENTOFRECUENTE$$

Los resultados a analizar serán las tensión media vertical en el nodo 1099 (habrá 4 tensiones, una por cada elemento área alrededor) (Fig 5.25) que está situado a 1 metro del suelo, altura a la que se realiza el ensayo de gato plano.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

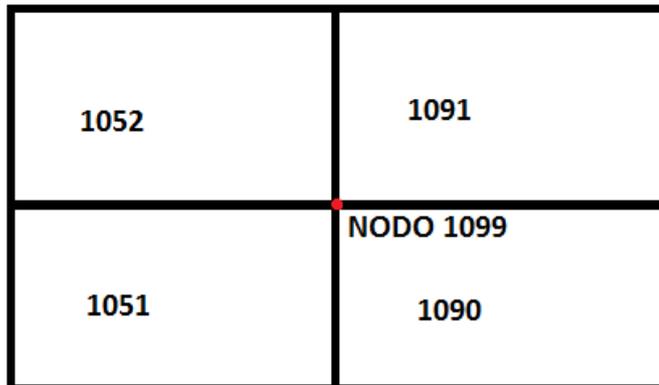


Fig 5.25: Nodo en el que se obtendrán los resultados

5.3.4 Construcción del modelo

Construimos la geometría con el asistente de estructuras de almacenamiento (Fig 5.26). Se consideran diámetros de 3,35 m y 1,75 m inferior y superior por ser el diámetro medio. El espesor se distribuye por igual a ambos lados de la línea media. En coordenadas cilíndricas, se consideran 36 divisiones angulares y ninguna división vertical para poder introducir el espesor variable posteriormente.

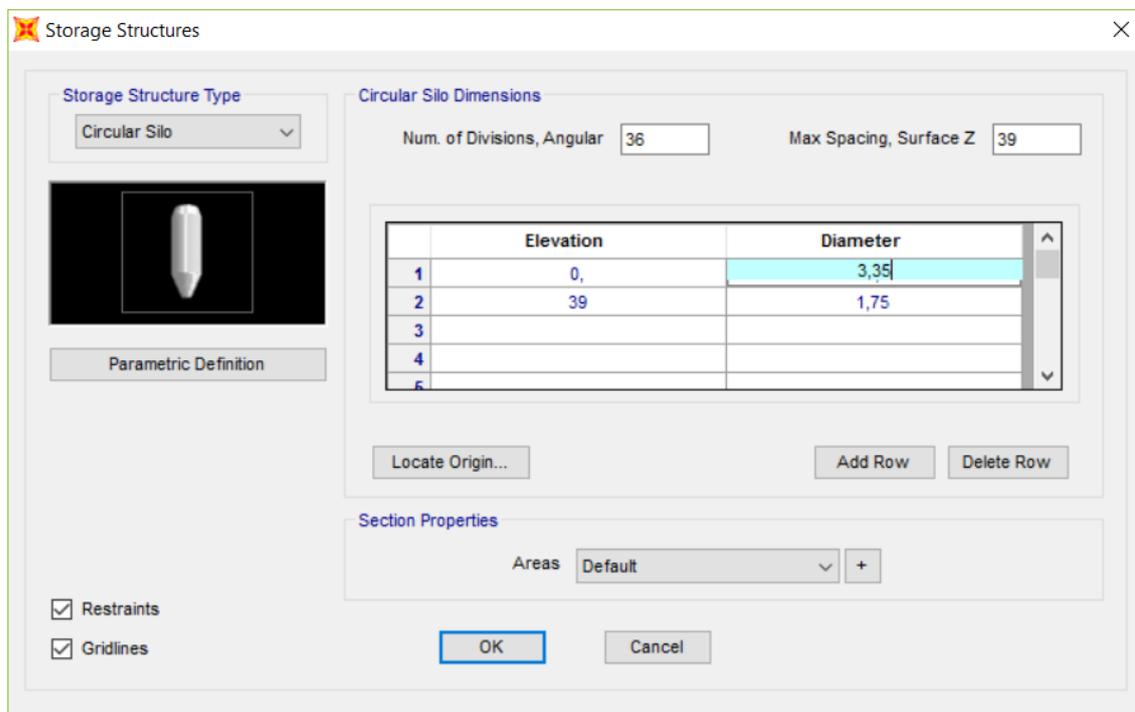


Fig 5.26: Asistente de estructuras de almacenamiento

A continuación se define el material, nombrado como "LADRILLO". También se define el elemento "Shell-Thick" (Fig 5.27). Se le atribuye un espesor constante de 0,65 metros que luego se modificará.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

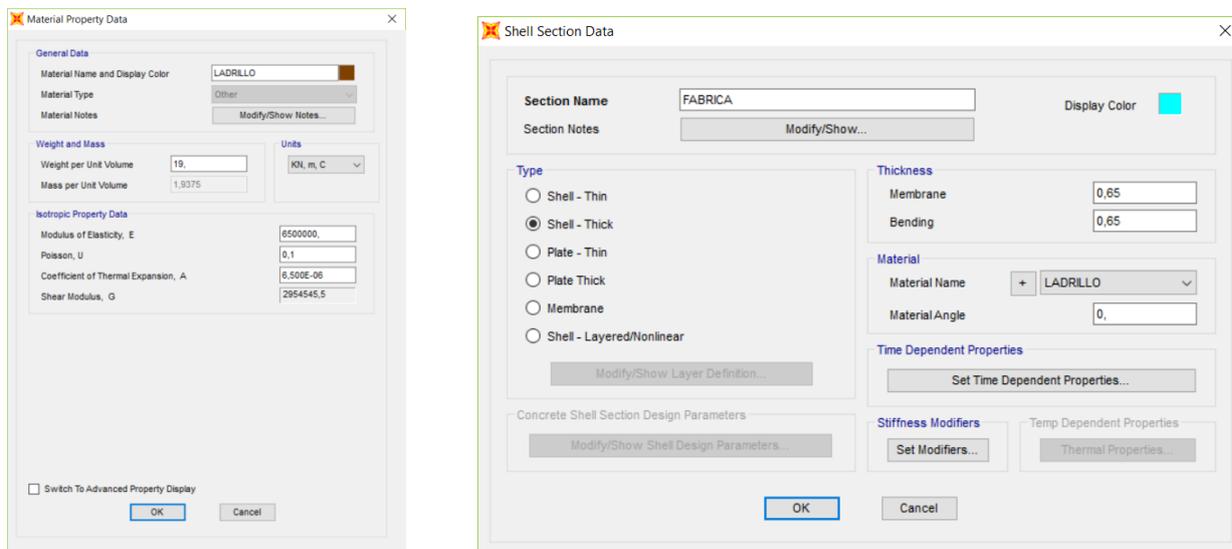


Fig 5.27: Definición del material y el elemento "Shell-Thick"

A continuación se le asigna a cada área definida con el asistente, el "Shell" llamado "FABRICA". Con la opción "Area Thickness Overwrites" asignamos el espesor variable (Fig 5.28). La manera en la que SAP2000 realiza esto es estableciendo un espesor a cada punto del elemento área. El elemento área está definido por 4 puntos; en ejes locales el 1 y el 2 son los inferiores y el 3 y el 4 los superiores.

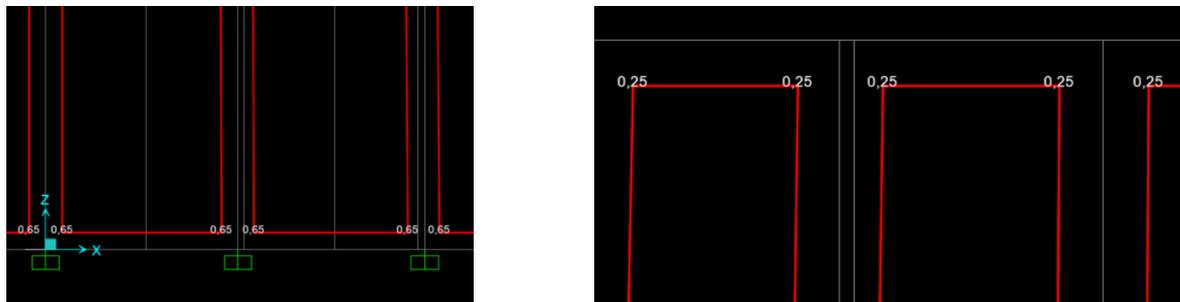


Fig 5.28: Asignación de espesor variable

El siguiente paso sería dividir la chimenea en un número finito de elementos. Se consideran 39 divisiones verticales, es decir, cada 1 metro; y 36 divisiones horizontales, cada 10 grados sexagesimales.

Finalmente, se introducen las cargas (Fig 5.29) y las combinaciones (Fig 5.30) que se han indicado en el punto anterior.

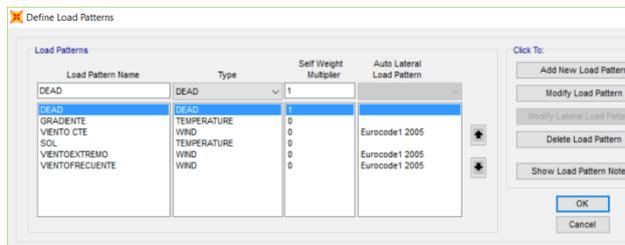


Fig 5.29: Cargas

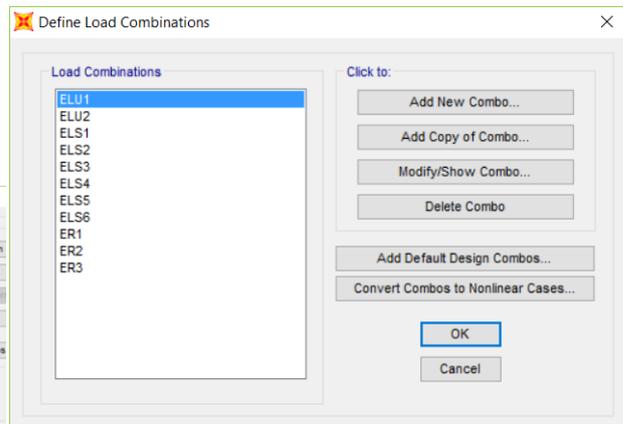


Fig 5.30: Combinaciones

5.3.5 Resultados

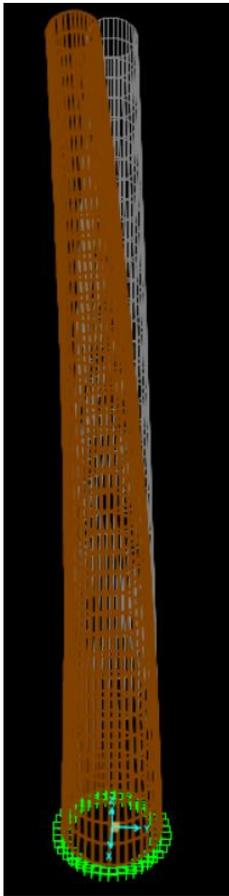
En primer lugar se presenta la tabla con las frecuencias y modos propios de vibración (Tabla 5.13). Si se observa el ratio de participación de masa se puede intuir el modo de vibración; por ejemplo el modo 7 es de torsión alrededor del eje vertical, mientras que el 1 y el 2 son de flexión, cada uno alrededor de un eje horizontal. SAP2000 también permite ver una animación de cada uno de los modos.

Tabla 5.13: Frecuencias y modos propios de vibración

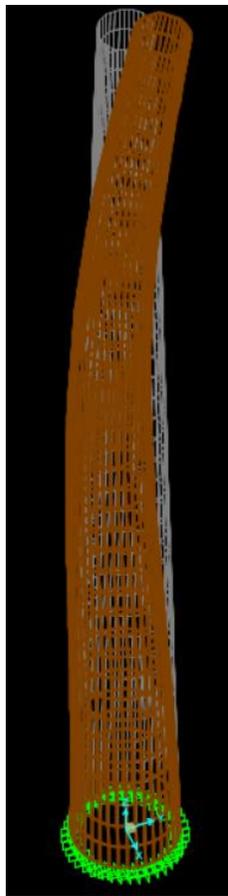
TABLE: Modal Participating Mass Ratios										
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,905013	1,104957	0,01669	0,43377	0	0,52668	0,02026	0
MODAL	Mode	2	0,905013	1,104957	0,43377	0,01669	0	0,02026	0,52668	0
MODAL	Mode	3	0,228182	4,382467	0,06156	0,1612	1,203E-20	0,03607	0,01377	2,256E-20
MODAL	Mode	4	0,228182	4,382467	0,1612	0,06156	0	0,01377	0,03607	0
MODAL	Mode	5	0,097828	10,22202	0,00292	0,10668	2,429E-19	0,08039	0,0022	4,393E-19
MODAL	Mode	6	0,097828	10,22202	0,10668	0,00292	1,938E-19	0,0022	0,08039	1,116E-18
MODAL	Mode	7	0,072667	13,7614	7,441E-18	1,167E-18	1,312E-17	2,027E-18	1,275E-17	0,59018
MODAL	Mode	8	0,063761	15,68357	2,777E-17	4,495E-17	0,69932	7,821E-17	4,368E-17	1,368E-17
MODAL	Mode	9	0,055545	18,00342	0,03502	0,02995	1,371E-15	0,03319	0,03882	2,454E-16
MODAL	Mode	10	0,055545	18,00342	0,02995	0,03502	1,313E-15	0,03882	0,03319	7,779E-17
MODAL	Mode	11	0,036814	27,16358	0,00525	0,03694	4,461E-14	0,04964	0,00706	8,24E-14
MODAL	Mode	12	0,036814	27,16358	0,03694	0,00525	1,23E-15	0,00706	0,04964	6,197E-16

Se muestran a continuación los modos propios de vibración (Fig 5.31), obviando las frecuencias repetidas, pues es el mismo modo en diferentes direcciones.

Modo 1 & 2



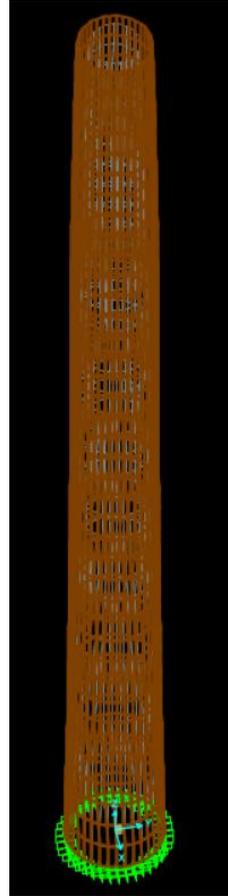
Modo 3 & 4



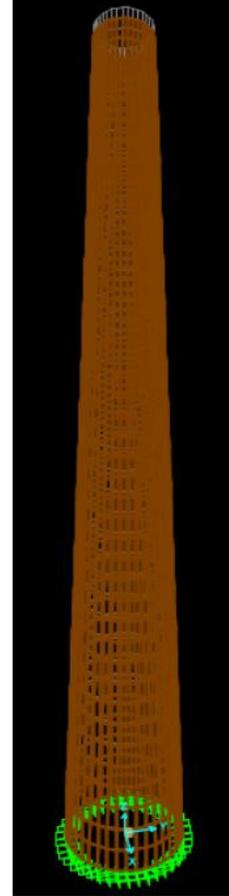
Modo 5 & 6



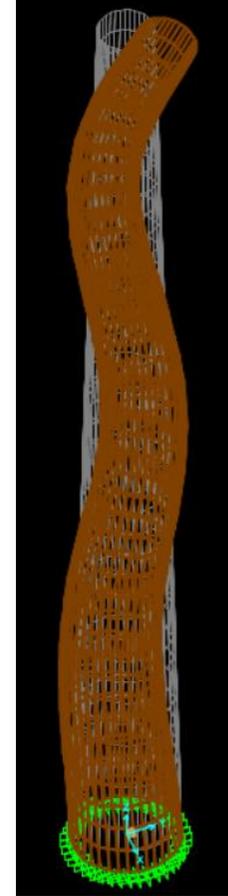
Modo 7 (torsión)



Modo 8 (desp. vert.)



Modo 9 & 10



Modo 11 & 12

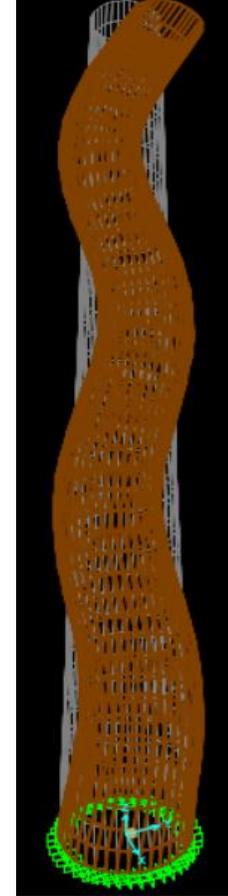


Fig 5.31: Modos propios de vibración

La tabla a continuación (Tabla 5.14) muestra la salida de resultados de las tensiones para cada combinación y para cada estado de cargas en el nodo 1099. Resulta mucho más interesante la tabla siguiente en la que se resume las tensiones medias verticales y horizontales en la cara externa para cada una de las cargas y combinaciones (Tabla 5.15).

Tabla 5.14a: Tensiones en el elemento 1099

TABLE: Element Stresses - Area Shells																							
Area Text	AreaElem Text	ShellType Text	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	S11Top KN/m2	S22Top KN/m2	S12Top KN/m2	SMaxTop KN/m2	SMinTop KN/m2	SAngleTop Degrees	SVMTop KN/m2	S11Bot KN/m2	S22Bot KN/m2	S12Bot KN/m2	SMaxBot KN/m2	SMinBot KN/m2	SAngleBot Degrees	SVMBot KN/m2	S13Avg KN/m2	S23Avg KN/m2	SMaxAvg KN/m2	SAngleAvg Degrees
1051	1051	Shell-Thick	1099	DEAD	LinStatic	9,5	-405,73	6,58	9,61	-405,83	0,908	410,72	10,84	-405,73	6,77	10,95	-405,84	0,93	411,42	-7,114E-12	2,063E-11	2,182E-11	109,028
1052	1052	Shell-Thick	1099	DEAD	LinStatic	10,02	-393,54	4,41	10,07	-393,59	0,627	398,72	11,34	-393,54	4,36	11,39	-393,59	0,616	399,4	-3,873E-12	3,939E-12	5,524E-12	134,517
1090	1090	Shell-Thick	1099	DEAD	LinStatic	9,5	-405,73	-6,58	9,61	-405,83	-0,908	410,72	10,84	-405,73	-6,77	10,95	-405,84	-0,93	411,42	-5,508E-12	4,476E-11	4,51E-11	97,015
1091	1091	Shell-Thick	1099	DEAD	LinStatic	10,02	-393,54	-4,41	10,07	-393,59	-0,627	398,72	11,34	-393,54	-4,36	11,39	-393,59	-0,616	399,4	-5,669E-12	7,87E-12	9,699E-12	125,763
1051	1051	Shell-Thick	1099	GRADIENTE	LinStatic	5922,84	381,68	1452,15	6280,34	24,18	13,83	6268,28	-2615,86	381,68	1502,92	1005,43	-3239,61	67,46	3842,28	-1,65E-09	4,983E-09	5,249E-09	108,323
1052	1052	Shell-Thick	1099	GRADIENTE	LinStatic	5873,94	98,32	1247,41	6131,84	-159,58	11,681	6213,17	-2668,99	98,32	1222,54	561,04	-3131,71	69,269	3446,65	-8,315E-10	7,234E-10	1,102E-09	138,977
1090	1090	Shell-Thick	1099	GRADIENTE	LinStatic	5922,84	381,68	-1452,15	6280,34	24,18	-13,83	6268,28	-2615,86	381,68	-1502,92	1005,43	-3239,61	-67,46	3842,28	-1,245E-09	9,947E-09	1,002E-08	97,136
1091	1091	Shell-Thick	1099	GRADIENTE	LinStatic	5873,94	98,32	-1247,41	6131,84	-159,58	-11,681	6213,17	-2668,99	98,32	-1222,54	561,04	-3131,71	-69,269	3446,65	-1,266E-09	1,487E-09	1,953E-09	130,397
1051	1051	Shell-Thick	1099	SOL	LinStatic	0,39	-99,26	8,86	1,18	-100,04	5,043	100,63	115,98	-99,26	-4,07	116,06	-99,33	-1,083	186,73	-2,17	8,892E-12	2,17	180
1052	1052	Shell-Thick	1099	SOL	LinStatic	-3,1	-122,55	9,65	-2,33	-123,33	4,589	122,18	113,15	-122,55	-6,67	113,34	-122,74	-1,619	204,51	-1,82	-2,472E-11	1,82	-180
1090	1090	Shell-Thick	1099	SOL	LinStatic	0,39	-99,26	-8,86	1,18	-100,04	-5,043	100,63	115,98	-99,26	4,07	116,06	-99,33	1,083	186,73	2,17	2,768E-11	2,17	7,301E-10
1091	1091	Shell-Thick	1099	SOL	LinStatic	-3,1	-122,55	-9,65	-2,33	-123,33	-4,589	122,18	113,15	-122,55	6,67	113,34	-122,74	1,619	204,51	1,82	-4,641E-11	1,82	-1,463E-09
1051	1051	Shell-Thick	1099	VIENTO CTE	LinStatic	21,04	-745,94	8,42	21,14	-746,04	0,629	756,83	-2,14	-745,94	9,67	-2,02	-746,07	0,745	745,06	0,57	-1,772E-11	0,57	-1,795E-09
1052	1052	Shell-Thick	1099	VIENTO CTE	LinStatic	22,02	-724,49	1,41	22,02	-724,5	0,108	735,75	-1,15	-724,49	4,26	-1,13	-724,52	0,337	723,95	0,48	-7,163E-11	0,48	-8,475E-09
1090	1090	Shell-Thick	1099	VIENTO CTE	LinStatic	21,04	-745,94	-8,42	21,14	-746,04	-0,629	756,83	-2,14	-745,94	-9,67	-2,02	-746,07	-0,745	745,06	-0,57	3,337E-11	0,57	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	VIENTO CTE	LinStatic	22,02	-724,49	-1,41	22,02	-724,5	-0,108	735,75	-1,15	-724,49	-4,26	-1,13	-724,52	-0,337	723,95	-0,48	-1,044E-10	0,48	-180
1051	1051	Shell-Thick	1099	VIENTOEXTREMO	LinStatic	41,43	-1468,54	16,59	41,61	-1468,72	0,629	1489,96	-4,22	-1468,54	19,04	-3,97	-1468,79	0,745	1466,81	1,11	-3,488E-11	1,11	-1,795E-09
1052	1052	Shell-Thick	1099	VIENTOEXTREMO	LinStatic	43,35	-1426,31	2,78	43,36	-1426,31	0,108	1448,48	-2,27	-1426,31	8,38	-2,22	-1426,36	0,337	1425,25	0,95	-1,41E-10	0,95	-8,475E-09
1090	1090	Shell-Thick	1099	VIENTOEXTREMO	LinStatic	41,43	-1468,54	-16,59	41,61	-1468,72	-0,629	1489,96	-4,22	-1468,54	-19,04	-3,97	-1468,79	-0,745	1466,81	-1,11	6,57E-11	1,11	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	VIENTOEXTREMO	LinStatic	43,35	-1426,31	-2,78	43,36	-1426,31	-0,108	1448,48	-2,27	-1426,31	-8,38	-2,22	-1426,36	-0,337	1425,25	-0,95	-2,056E-10	0,95	-180
1051	1051	Shell-Thick	1099	VIENTOFRECUENTE	LinStatic	1,56	-55,26	0,62	1,57	-55,27	0,629	56,07	-0,16	-55,26	0,72	-0,15	-55,27	0,745	55,2	0,04191	-1,313E-12	0,04191	-1,795E-09
1052	1052	Shell-Thick	1099	VIENTOFRECUENTE	LinStatic	1,63	-53,67	0,1	1,63	-53,67	0,108	54,51	-0,08533	-53,67	0,32	-0,08348	-53,68	0,337	53,63	0,03588	-5,307E-12	0,03588	-8,475E-09
1090	1090	Shell-Thick	1099	VIENTOFRECUENTE	LinStatic	1,56	-55,26	-0,62	1,57	-55,27	-0,629	56,07	-0,16	-55,26	-0,72	-0,15	-55,27	-0,745	55,2	-0,04191	2,472E-12	0,04191	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	VIENTOFRECUENTE	LinStatic	1,63	-53,67	-0,1	1,63	-53,67	-0,108	54,51	-0,08533	-53,67	-0,32	-0,08348	-53,68	-0,337	53,63	-0,03588	-7,737E-12	0,03588	-180
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS1	Combination	3604,87	-1704,82	899,78	3753,2	-1853,15	9,361	4947,31	-1493,31	-1704,82	925,11	-667,92	-2530,2	41,739	2271,13	-0,19	2,981E-09	0,19	180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS1	Combination	3575,88	-1834,39	761,43	3681	-1939,51	7,86	4944,77	-1524,43	-1834,39	742,26	-921,14	-2437,67	39,103	2131,97	-0,14	2,821E-10	0,14	180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS1	Combination	3604,87	-1704,82	-899,78	3753,2	-1853,15	-9,361	4947,31	-1493,31	-1704,82	-925,11	-667,92	-2530,2	-41,739	2271,13	0,19	6,095E-09	0,19	0,000001842
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS1	Combination	3575,88	-1834,39	-761,43	3681	-1939,51	-7,86	4944,77	-1524,43	-1834,39	-742,26	-921,14	-2437,67	-39,103	2131,97	0,14	6,669E-10	0,14	0,000000279
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS2	Combination	51,16	-1933,82	28,49	51,57	-1934,23	0,822	1960,53	76,21	-1933,82	23,36	76,48	-1934,09	0,666	1973,45	-0,19	-8,92E-12	0,19	-180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS2	Combination	51,51	-1893,38	12,98	51,6	-1893,46	0,382	1919,78	76,97	-1893,38	8,73	77	-1893,42	0,254	1933,07	-0,14	-1,519E-10	0,14	-180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS2	Combination	51,16	-1933,82	-28,49	51,57	-1934,23	-0,822	1960,53	76,21	-1933,82	-23,36	76,48	-1934,09	-0,666	1973,45	0,19	1,271E-10	0,19	3,84E-08
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS2	Combination	51,51	-1893,38	-12,98	51,6	-1893,46	-0,382	1919,78	76,97	-1893,38	-8,73	77	-1893,42	-0,254	1933,07	0,14	-2,256E-10	0,14	-9,438E-08
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS3	Combination	20,02	-778,7	10,8	20,17	-778,85	0,774	789,13	9,76	-778,7	11,6	9,94	-778,87	0,843	783,89	0,28	1,177E-11	0,28	2,384E-09
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS3	Combination	21,03	-755,78	5,12	21,07	-755,82	0,378	766,57	10,77	-755,78	6,49	10,82	-755,84	0,485	761,31	0,24	-3,188E-11	0,24	-7,543E-09



Tabla 5.14b: Tensiones en el elemento 1099

TABLE: Element Stresses - Area Shells																							
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	S11Top	S22Top	S12Top	SMaxTop	SMinTop	SAngleTop	SVMTop	S11Bot	S22Bot	S12Bot	SMaxBot	SMinBot	SAngleBot	SVMBot	S13Avg	S23Avg	SMaxAvg	SAngleAvg
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Degrees	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Degrees	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Degrees
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS3	Combination	20,02	-778,7	-10,8	20,17	-778,85	-0,774	789,13	9,76	-778,7	-11,6	9,94	-778,87	-0,843	783,89	-0,28	6,144E-11	0,28	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS3	Combination	21,03	-755,78	-5,12	21,07	-755,82	-0,378	766,57	10,77	-755,78	-6,49	10,82	-755,84	-0,485	761,31	-0,24	-4,435E-11	0,24	-180
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS4	Combination	20,02	-778,7	10,8	20,17	-778,85	0,774	789,13	9,76	-778,7	11,6	9,94	-778,87	0,843	783,89	0,28	1,177E-11	0,28	2,384E-09
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS4	Combination	21,03	-755,78	5,12	21,07	-755,82	0,378	766,57	10,77	-755,78	6,49	10,82	-755,84	0,485	761,31	0,24	-3,188E-11	0,24	-7,543E-09
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS4	Combination	20,02	-778,7	-10,8	20,17	-778,85	-0,774	789,13	9,76	-778,7	-11,6	9,94	-778,87	-0,843	783,89	-0,28	6,144E-11	0,28	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS4	Combination	21,03	-755,78	-5,12	21,07	-755,82	-0,378	766,57	10,77	-755,78	-6,49	10,82	-755,84	-0,485	761,31	-0,24	-4,435E-11	0,24	-180
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS5	Combination	9,5	-405,73	6,58	9,61	-405,83	0,908	410,72	10,84	-405,73	6,77	10,95	-405,84	0,93	411,42	-7,114E-12	2,063E-11	2,182E-11	109,028
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS5	Combination	10,02	-393,54	4,41	10,07	-393,59	0,627	398,72	11,34	-393,54	4,36	11,39	-393,59	0,616	399,4	-3,873E-12	3,939E-12	5,524E-12	134,517
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS5	Combination	9,5	-405,73	-6,58	9,61	-405,83	-0,908	410,72	10,84	-405,73	-6,77	10,95	-405,84	-0,93	411,42	-5,508E-12	4,476E-11	4,51E-11	97,015
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS5	Combination	10,02	-393,54	-4,41	10,07	-393,59	-0,627	398,72	11,34	-393,54	-4,36	11,39	-393,59	-0,616	399,4	-5,669E-12	7,87E-12	9,699E-12	125,763
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELS6	Combination	9,5	-405,73	6,58	9,61	-405,83	0,908	410,72	10,84	-405,73	6,77	10,95	-405,84	0,93	411,42	-7,114E-12	2,063E-11	2,182E-11	109,028
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELS6	Combination	10,02	-393,54	4,41	10,07	-393,59	0,627	398,72	11,34	-393,54	4,36	11,39	-393,59	0,616	399,4	-3,873E-12	3,939E-12	5,524E-12	134,517
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELS6	Combination	9,5	-405,73	-6,58	9,61	-405,83	-0,908	410,72	10,84	-405,73	-6,77	10,95	-405,84	-0,93	411,42	-5,508E-12	4,476E-11	4,51E-11	97,015
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELS6	Combination	10,02	-393,54	-4,41	10,07	-393,59	-0,627	398,72	11,34	-393,54	-4,36	11,39	-393,59	-0,616	399,4	-5,669E-12	7,87E-12	9,699E-12	125,763
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELU1	Combination	5375,3	-1412,47	1336,44	5628,95	-1666,12	10,747	6621,15	-2238,47	-1412,47	1372,6	-392,08	-3258,86	53,373	3081,59	-1,11	4,494E-09	1,11	180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELU1	Combination	5330,32	-1639,83	1139,43	5511,86	-1821,36	9,052	6613,4	-2286,67	-1639,83	1106,55	-810,4	-3116,09	53,146	2800,27	-0,91	5,267E-10	0,91	180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELU1	Combination	5375,3	-1412,47	-1336,44	5628,95	-1666,12	-10,747	6621,15	-2238,47	-1412,47	-1372,6	-392,08	-3258,86	-53,373	3081,59	1,11	9,088E-09	1,11	4,706E-07
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELU1	Combination	5330,32	-1639,83	-1139,43	5511,86	-1821,36	-9,052	6613,4	-2286,67	-1639,83	-1106,55	-810,4	-3116,09	-53,146	2800,27	0,91	1,151E-09	0,91	7,254E-08
1051	1051	Shell-Thick	1099	ELU2	Combination	44,75	-1755,98	29,5	45,23	-1756,47	0,938	1779,51	115,8	-1755,98	19,97	116,01	-1756,2	0,611	1816,98	-1,11	9,272E-12	1,11	180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ELU2	Combination	43,77	-1728,31	16,76	43,93	-1728,47	0,542	1750,85	115,42	-1728,31	6,26	115,44	-1728,33	0,195	1788,85	-0,91	-1,244E-10	0,91	-180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ELU2	Combination	44,75	-1755,98	-29,5	45,23	-1756,47	-0,938	1779,51	115,8	-1755,98	-19,97	116,01	-1756,2	-0,611	1816,98	1,11	1,354E-10	1,11	7,011E-09
1091	1091	Shell-Thick	1099	ELU2	Combination	43,77	-1728,31	-16,76	43,93	-1728,47	-0,542	1750,85	115,42	-1728,31	-6,26	115,44	-1728,33	-0,195	1788,85	0,91	-1,878E-10	0,91	-1,184E-08
1051	1051	Shell-Thick	1099	ER1	Combination	5974,16	-1591,85	1484,18	6254,89	-1872,58	10,711	7371,77	-2493,26	-1591,85	1524,65	-452,68	-3632,43	53,234	3428,57	-1,06	4,977E-09	1,06	180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ER1	Combination	5924,21	-1844,08	1264,25	6124,79	-2044,65	9,015	7363,2	-2546,76	-1844,08	1228,61	-917,56	-3473,28	52,979	3117,47	-0,86	5,616E-10	0,86	180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ER1	Combination	5974,16	-1591,85	-1484,18	6254,89	-1872,58	-10,711	7371,77	-2493,26	-1591,85	-1524,65	-452,68	-3632,43	-53,234	3428,57	1,06	1,009E-08	1,06	5,459E-07
1091	1091	Shell-Thick	1099	ER1	Combination	5924,21	-1844,08	-1264,25	6124,79	-2044,65	-9,015	7363,2	-2546,76	-1844,08	-1228,61	-917,56	-3473,28	-52,979	3117,47	0,86	1,243E-09	0,86	8,247E-08
1051	1051	Shell-Thick	1099	ER2	Combination	51,32	-1973,53	32,03	51,83	-1974,03	0,906	2000,45	122,6	-1973,53	21,73	122,83	-1973,75	0,594	2037,94	-1,06	-5,364E-12	1,06	-180
1052	1052	Shell-Thick	1099	ER2	Combination	50,27	-1942,4	16,84	50,42	-1942,54	0,484	1968,23	122,23	-1942,4	6,07	122,25	-1942,42	0,168	2006,33	-0,86	-1,618E-10	0,86	-180
1090	1090	Shell-Thick	1099	ER2	Combination	51,32	-1973,53	-32,03	51,83	-1974,03	-0,906	2000,45	122,6	-1973,53	-21,73	122,83	-1973,75	-0,594	2037,94	1,06	1,381E-10	1,06	7,477E-09
1091	1091	Shell-Thick	1099	ER2	Combination	50,27	-1942,4	-16,84	50,42	-1942,54	-0,484	1968,23	122,23	-1942,4	-6,07	122,25	-1942,42	-0,168	2006,33	0,86	-2,441E-10	0,86	-1,619E-08
1051	1051	Shell-Thick	1099	ER3	Combination	11,06	-460,99	7,21	11,17	-461,1	0,875	466,79	10,68	-460,99	7,48	10,8	-461,11	0,909	466,6	0,04191	1,932E-11	0,04191	2,64E-08
1052	1052	Shell-Thick	1099	ER3	Combination	11,65	-447,21	4,52	11,7	-447,26	0,564	453,22	11,26	-447,21	4,67	11,3	-447,26	0,584	453,02	0,03588	-1,368E-12	0,03588	-2,185E-09
1090	1090	Shell-Thick	1099	ER3	Combination	11,06	-460,99	-7,21	11,17	-461,1	-0,875	466,79	10,68	-460,99	-7,48	10,8	-461,11	-0,909	466,6	-0,04191	4,723E-11	0,04191	180
1091	1091	Shell-Thick	1099	ER3	Combination	11,65	-447,21	-4,52	11,7	-447,26	-0,564	453,22	11,26	-447,21	-4,67	11,3	-447,26	-0,584	453,02	-0,03588	1,328E-13	0,03588	180

Tabla 5.15: Resumen de las tensiones verticales (S22) y horizontales (S11) para carga y combinación en el nodo 1099

TABLE: Element Stresses - Area Shells						
AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	S11Top	S22Top
Text	Text	Text	Text	Text	KN/m2	KN/m2
	Shell-Thick	1100	DEAD	LinStatic	9,76	-399,64
	Shell-Thick	1100	GRADIENTE	LinStatic	5898,39	240,00
	Shell-Thick	1100	SOL	LinStatic	-1,36	-110,91
	Shell-Thick	1100	VIENTO CTE	LinStatic	21,53	-735,22
	Shell-Thick	1100	VIENTOEXTREMO	LinStatic	42,39	-1447,43
	Shell-Thick	1099	VIENTOFRECUENTE	LinStatic	1,60	-54,47
	Shell-Thick	1099	ELU1	Combination	5352,81	-1526,15
	Shell-Thick	1099	ELU2	Combination	44,26	-1742,145
	Shell-Thick	1099	ELS1	Combination	3590,375	-1769,605
	Shell-Thick	1099	ELS2	Combination	51,335	-1913,6
	Shell-Thick	1099	ELS3	Combination	20,525	-767,24
	Shell-Thick	1099	ELS4	Combination	20,525	-767,24
	Shell-Thick	1099	ELS5	Combination	9,76	-399,635
	Shell-Thick	1099	ELS6	Combination	9,76	-399,635
	Shell-Thick	1099	ER1	Combination	5949,185	-1717,965
	Shell-Thick	1099	ER2	Combination	50,795	-1957,965
	Shell-Thick	1099	ER3	Combination	11,355	-454,1

Se incluyen, a modo de ejemplo, varias salidas de datos en la interfaz gráfica de SAP2000 (Fig 5.32 y Fig 5.33).

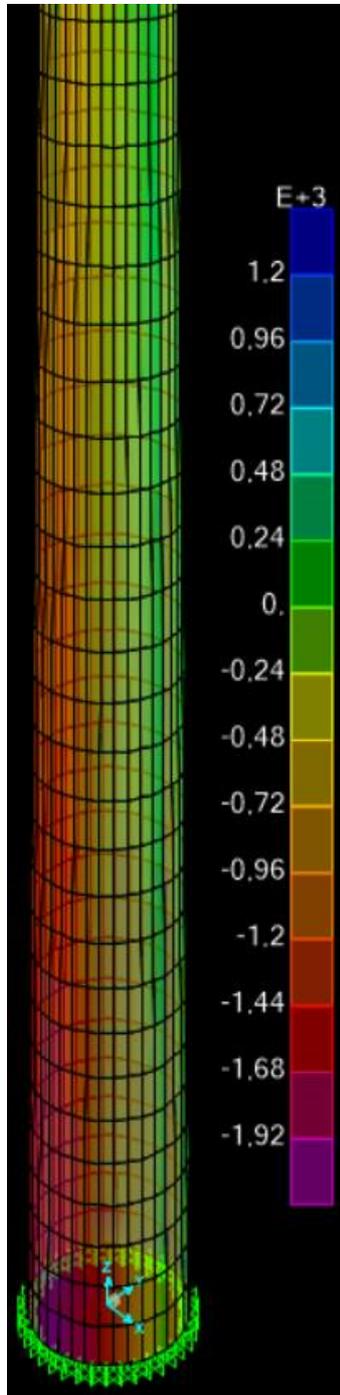


Fig 5.32: Tensiones verticales en la cara externa de la chimenea ante la combinación ER2

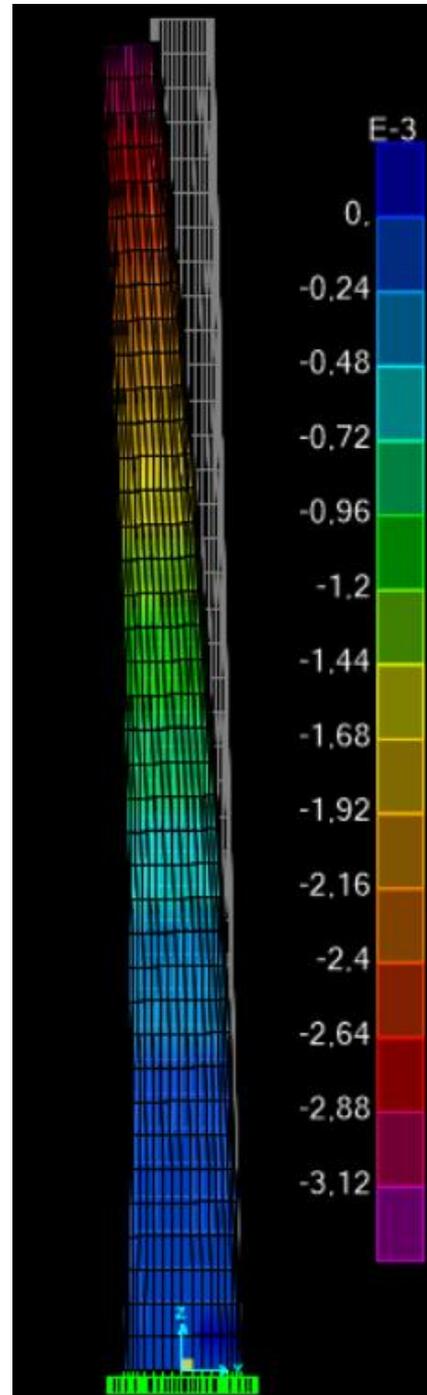


Fig 5.33: Deformada ante la combinación ER3. Factor de escala 500. En escala de colores se representa el movimiento horizontal en el eje Y

5.3.6 Análisis de los resultados

En primer lugar, se quiere advertir sobre las acciones de tipo térmico. Posiblemente por mi falta de experiencia y pericia con el programa, estas acciones no están correctamente introducidas. Se llega a esta conclusión porque no se obtienen los resultados esperados. Se intentó modelar una estructura más sencilla e imponerle carga térmicas, pero no se llegaron a resultados satisfactorios.

Por otro lado, se observa que la tensión vertical en la hoja exterior debido al peso propio es de 400 kPa de compresión y que un viento frecuente de 9 m/s ocasiona una tensión del orden de $1/8$ de la que produce el peso propio (54 kPa). También se observa que con las cargas de viento de cálculo del CTE, las tensiones verticales ya son más importantes que las de peso propio; 735 kPa frente a 400 kPa. Además, un viento extremo, que se ha producido una vez en los últimos 36 años, de 167 km/h , origina tensiones verticales de 1447 kPa, y en conjunto con el peso propio, tensiones del orden de 2 Mpa , cerca de los $2,9\text{ Mpa}$ de resistencia de cálculo de la fábrica.

De todas maneras, el modelo puede no corresponderse con el comportamiento estructural real de la chimenea. La forma de comprobarlo es comparando los resultados obtenidos en el ensayo de gato plano simple con el nivel tensional de la chimenea. En el ensayo realizado in-situ se obtuvo un valor de **1550** kPa a compresión mientras que en el modelo, para las hipótesis de carga consideradas, es decir, la **ER3** tal y como se explica en "Cargas y combinaciones" se ha obtenido un valor de **454,1** kPa a compresión. Esta variación puede deberse a varios motivos:

- El ensayo no se corresponde con la chimenea modelada. A pesar de tener características similares, hay que tomar la comparación con cautela.
- La hipótesis de estrechamiento progresivo no es del todo correcta. Hay zonas que se han obviado, que si bien no aporta resistencia, sí que aportan peso, que en este caso no se tiene en cuenta.
- La hoja interior de ladrillo refractario va típicamente anclada a la fábrica cada cierta altura. En nuestro modelo dicha hoja, y por ende su peso, no se tiene en cuenta. Tampoco se toman en cuenta el peso de todos los elementos auxiliares de la chimenea
- Podría existir alguna abertura o lavado de material en la fábrica, de tal manera que por efecto arco y redistribución de tensiones, el valor hallado in situ sea mayor que el que debería.
- La carga de viento que se introduce en el modelo puede no ser la correcta. Esto puede ser que la velocidad del viento en el momento del ensayo no fuera la misma que se ha considerado en el modelo; que la fórmula de presión estática no represente la actuante real; que en el modelo no se hayan considerado todas las acciones reales, etc.
- En la chimenea podría existir un cierto desplome en la dirección de vientos predominantes (hipótesis bastante plausible). Estas deformaciones permanentes, no consideradas en el modelo (por falta de disponibilidad de medios para su comprobación), desplazarían la masa de la chimenea que provocaría una redistribución tensional en la base de la misma.
- El punto de medida se encuentra cerca de la zona de concentración de tensiones debido al número finito de apoyos lo que puede dar lugar a errores.
- El modelo considera una estructura isótropa y homogénea, que no sucede realmente. Se está considerando una perfecta traba entre hojas, además de un completo trabajo solidario entre ellas. Por tanto, el modelo podría tener mayor capacidad estructural que la real.
- El modelo puede no ser correcto. Bien puede ser que el elemento "*Shell-Thick*" no sea el más adecuado para modelar la chimenea; las condiciones de contorno no sean las adecuadas; sea necesario tomar coeficientes parciales de rigidez según determinadas direcciones; etc.

Este trabajo pone de manifiesto lo complicado que puede ser modelar una chimenea histórica de ladrillo, máxime si se desconocen determinados parámetros de entrada (se recuerda que se han utilizado características mecánicas obtenidas en otra chimenea) y datos obtenidos vía ensayos realizados en posibles puntos de la construcción que puedan ayudar a calibrar el modelo numérico desarrollado. Más reconocimientos experimentales y un levantamiento geométrico tridimensional preciso serían bienvenidos para refinar el modelo y, aún así, puede que no se consigan resultados totalmente satisfactorios, dada la heterogeneidad presente en este tipo de construcciones tanto en geometría, morfología interna, distribución de defectos (con su afección al comportamiento estructural) y parámetros mecánicos variables de las fábricas y materiales formes de las mismas.

6 Conclusiones

6.1 Conclusiones de carácter general

En primer lugar, es necesario reconocer estas construcciones de fábrica como unas estructuras muy importantes para el desarrollo industrial a partir de la revolución industrial. En el *Estado del Arte* se ha manifestado el riguroso estudio teórico en torno a las chimeneas, si bien más tarde se ha comprobado que muchos avances en la investigación sobre ellas reside en el trabajo empírico y no tanto en el teórico. Debido a la singularidad de este tipo de estructuras (altura y materiales de construcción) la construcción es muy especializada y requiere de mucha pericia. No obstante, estas chimeneas perdieron su funcionalidad con el desarrollo y/o abandono de la actividad industrial por lo que fueron deteriorándose paulatinamente. Por ello, diversos autores, motivados por la preservación frente al olvido, empezaron a estudiarlas con el fin de conservarlas, rehabilitarlas y detener su ruina.

En Cantabria no se han realizado ninguno de estos estudios. La región no cuenta con una catalogación ni documentación en lo que a estas construcciones se refiere. Por ello, en este Trabajo se han localizado las chimeneas existentes en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo, encontrando un total de 11 chimeneas de fábrica de ladrillo.

El estado de conservación es variado. Las chimeneas aparentemente más modernas presentaban un mejor estado de conservación en general. Aquellas situadas en zonas rurales, donde la vegetación existe de manera descontrolada, presentaban mayor cantidad de defectos. Los agrietamientos existentes en las fábricas son típicamente verticales, en lo que se deduce que es debido a acciones térmicas y procesos de fatiga. Los materiales de los que están construidos son susceptibles a la desagregación y a la erosión, de tal manera que el 100% de las chimeneas estudiadas presentan este proceso patológico. También es bastante habitual la existencia de suciedad y pátina negra; lógico si se tiene en cuenta la naturaleza de los gases expulsados por las chimeneas, producto de la combustión de carbón.

Por último, se realizaron unos ensayos aplicando técnicas ligeramente destructivas. Se efectuaron los ensayos de gato plano simple y de gato plano doble con el fin de obtener el nivel tensional vertical in situ y obtener los parámetros mecánicos de la fábrica con los que se alimentó un modelo de elementos finitos que simulase el comportamiento estructural de la estructura. En conclusión se determinó que las cargas horizontales de viento pueden producir tensiones en la fábrica muy importantes.

6.2 Trabajos futuros

El primer trabajo futuro que uno piensa es el de extender este estudio al resto de la comunidad autónoma. Sería interesante realizar un catálogo de todas las chimeneas de Cantabria, incluyendo también, en la medida de lo posible, las que ya no existen. Una vez hecho el catálogo podría proponerse una campaña de tratamientos terapéuticos en chimeneas que así lo requieran con el fin de preservar la integridad del patrimonio construido.

En relación al caso práctico concreto, sería interesante depurar el modelo con el objetivo de lograr una mayor similitud de resultados. Podría realizarse un análisis dinámico mediante acelerómetros colocados en el fuste de la chimenea y calibrar el modelo con estos resultados. También podrían medirse las condiciones ambientales el día de realización de los ensayos para determinar las cargas eólicas actuantes en la construcción. Además, podría investigarse la variación de resultados en función a la existencia o no de traba entre hojas. Por último, sería adecuado determinar con certeza qué clases de esfuerzos inducen las acciones de tipo térmico sobre la estructura.

7 Bibliografía

7.1 Publicaciones

Alonso Ruíz, María Esther "Catalogación y metodología de rehabilitación de ingenios hidráulicos en el río Ebro a su paso por Cantabria" Trabajo de Fin de Grado. Junio 2014

Antuñas 2016 "<http://www.antunasl.com/>" Fecha de consulta: Mayo 2016

Bosia, D., Pistone, G., Riva, G., Violante, A. (2001). The restoration of ancient brickwork chimneys. WIT Transactions on the Built Environment, 55, pp. 209-218.

Bru, D., Ivorra, S., Baeza, J., Reynau, R. (2016). Refuerzo de una chimenea industrial de mampostería mediante tejido de fibra de vidrio con base cementicia frente a acciones sísmicas. REHABEND 2016, pp. 1815-1822. Burgos, España.

Cayla y Lerolle (1900). Cheminées monumentales. Paris 1900

De las Rivas y López, M. (1905). Chimeneas de fábrica, Teoría, Cálculo de sus dimensiones, Estabilidad, Construcción. Revista "Memorial de Ingenieros del Ejército". Cuarta época- tomo XXII, pp. 251-378.

Díaz, C., Gumà, R. (1999). Patología, diagnóstico y recuperación de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo cerámico. Informes de la Construcción, Vol. 51 n° 464, pp. 23-39.

Ghobarah, A., Baumber, T. (1992). Seismic response and retrofit of industrial brick masonry chimneys. Canadian Journal of Civil Engineering, 19 (1), pp. 117-128.

Lechman, M. (2000). Influence of insolation on RC and masonry chimney structures. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Issue 78, pp. 139-140.

Lombillo Vozmediano, Ignacio (2010) "Investigación teórico-experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido" Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria. Mayo 2010

Lombillo I., Boffill Y., Cueli J., Villegas L., Blanco H., Carrasco C., Vega F. (2016). Preliminary studies on materials and structural behaviour of a early 20th-century brickwork chimney. Xii international conference on structural repair and rehabilitation, cinpar 2016. Oporto (portugal). 26-29 octubre 2016.

Lombillo I. (2016a). Apuntes didácticos. G1183 - Patología y Rehabilitación de la Edificación

Masciotta M.G., Ramos L.F., Lourenço P.B., Vasta M. 2014 "Structural Monitoring and Damage Identification on a Masonry Chimney by a Spectral-based Identification Technique" Julio 2014

Mattoni, R., Pasero, G., Pistone, G., Roccati, R. (1979). On the possibility of reusing old masonry. Proceedings of the 5th International Brick Masonry Conference, Washington, USA.

Pallarés, F.J., Ivorra, S., Pallarés, L., Adam, J.M. (2009). Seismic assessment of a CFRP-strengthened masonry chimney. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and buildings, 162(5), pp. 291-299.

Pallarés, F.J., Agüero, A., Ivorra, S. (2009a). A comparison of different failure criteria in a numerical seismic assessment of an industrial brickwork chimney. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 42 (2), pp. 213-226.

Pallarés, F.J., Agüero, A., Martín, M. (2006). Seismic behaviour of industrial masonry chimneys. International Journal of Solids and Structures, 43 (7-8), pp. 2076-2090.

patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com 2016 " patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com/"
Fecha de consulta: Abril 2016

pindio.es " www.pindio.es" Fecha de consulta: Abril 2016

Pistone, G., Riva, G., Zorgno, A.M. (1997). Structural behaviour of ancient chimneys. International Series on Advances in Architecture, 3, pp. 331-341.

Pistone, G., Riva, G. Zorgno, A.M. (1996). Problems with the restoration of old brickwork chimneys in northern Italy. Proceedings of the 7th North American masonry congress, University of Notre Dame, South Bend, Indiana, USA. Vol. 1, pp. 408-417.

Ruíz Gómez, Fernando (2011). Una industria en ruinas: arqueología industrial en Campoo. Casa de Cultura "Sánchez Díaz"

Sierra Álvarez, José. El complejo vidriero de Campoo (Cantabria), 1844-1928: una aportación a la historia de la industria española del vidrio. Universidad de Cantabria

7.2 Normativa técnica

ASTM C67

British Standard BS5628: Part1: 1978. Code of practice for Structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry

CTE - Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural

EHE 08 - Instrucción de Hormigón Estructural. Capítulo 3: Acciones

EN 1015-11

Eurocódigo 6

Norma Básica de la Edificación NBE-FL90 "Muros resistentes de fábrica de ladrillo"

p.i.e.t. 70

7.3 Software y herramientas utilizadas

AutoCad 2014

Google Earth

SAP2000



Catalogación y análisis de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo.



Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.

ANEJO 1

FICHA DE TOMA DE DATOS


FICHA DE TOMA DE DATOS
1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección:		Coordenadas UTM:
Localidad:	Municipio	Comarca:

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual:	Uso histórico:	
Descripción gráfica:		
Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX
Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
	Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm		
Altura de la base (si visible), cm		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm		
Inclinación respecto del norte		
Esbeltez (a/b)	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm		
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	¿Existencia de traba? (S/N)	
Espesor de junta de mortero, cm		

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX
Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX

5. Defectos superficiales

Pátina negra	<input type="checkbox"/>	Pátina biogénica	<input type="checkbox"/>
Costras	<input type="checkbox"/>	Eflorescencias	<input type="checkbox"/>
Criptoflorescencias	<input type="checkbox"/>	Exfoliación/Desplacado	<input type="checkbox"/>



<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales		
Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX
Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX	Foto 1: XXXX

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
•	•	• • •
•	•	•
•	•	•

9. Personal:

<p>Alumno:</p> <p>XXXXX</p> <p><i>Alumno de Grado en Ingeniería Civil</i></p> <p style="text-align: right;"><i>Firma</i></p>	<p>Director del Trabajo Fin de Grado:</p> <p>Ignacio Lombillo Vozmediano</p> <p><i>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i></p> <p style="text-align: right;"><i>Firma</i></p>
---	--



Catalogación y análisis de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.



ANEJO 2

HOJA DE TOMA DE DATOS. ESTACIÓN TOTAL

Chimenea:

Fecha:

Estacionamiento 1 (referencia y visual de la base)

	Objetivo	Altura instr.	Altura prisma	Azimet	Azimet (promedio)	Cenital	Cenital (promedio)	Lectura	Lectura (promedio)	Dist. Vertical	Dist. Horizontal
EST 1	EST2_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	EST2_CI										
	BASE_CHIM_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	BASE_CHIM_CI										
	ALTO_CHIM_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	ALTO_CHIM_CI										

Estacionamiento 2

	Objetivo	Altura instr.	Altura prisma	Azimet	Azimet (promedio)	Cenital	Cenital (promedio)	Lectura	Lectura (promedio)	Dist. Vertical	Dist. Horizontal
EST 2	EST1_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	EST1_CI										
	BASE_CHIM_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	BASE_CHIM_CI										
	ALTO_CHIM_CD				0,0000		0,0000		0,0000	0,000	0,000
	ALTO_CHIM_CI										

Resolución del triángulo en planta

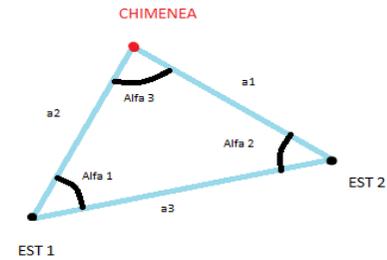
Sin prisma en la base

Alfa 1	0,0000	a1	0,0000
Alfa 2	0,0000	a2	0,0000
Alfa 3	200,0000	a3	0,0000

Altura chimenea	0,000
-----------------	-------

Con prisma en la base

Altura chimenea	0,000
-----------------	-------



Croquis de nomenclatura



Catalogación y análisis de chimeneas industriales de fábrica de ladrillo en las comarcas de Trasmiera, Pas-Miera-Pisueña y Campoo.

Estudio del comportamiento estructural de un caso concreto.



ANEJO 3

FICHAS DE TOMA DE DATOS DE LAS CHIMENEAS VISITADAS

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Cruce de CA - 146 con CA - 422	Coordenadas UTM: 43.409274, -3.710731
Localidad: Villaverde de Pontones	Municipio: Ribamontán al Monte
	Comarca: Trasmiera

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Chimenea de industria láctea
----------------------------	--

Descripción gráfica:



Foto 1: Ubicación de la chimenea

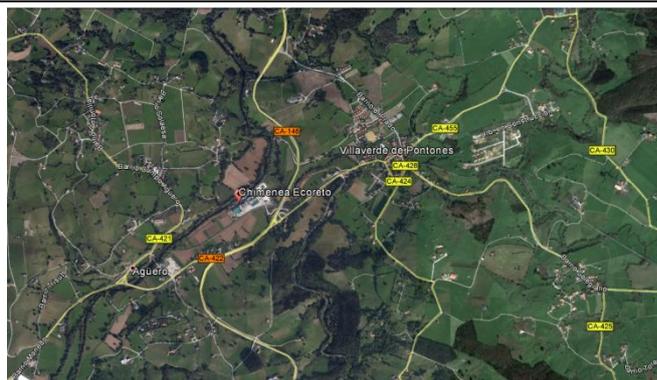


Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Empresa encargada de la colocación del pararrayos

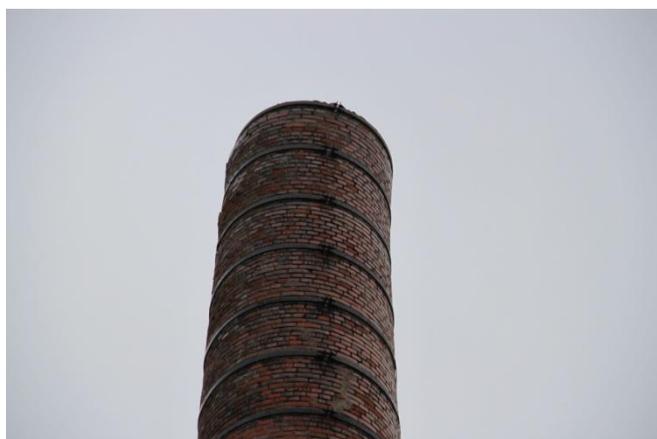
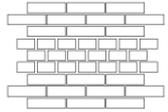


Foto 5: Inclinación de la chimenea en la parte superior

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	3897	 3 sogas y 3 tizones	No accesible
Altura de la base (si visible), cm	No visible		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	407		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	36		
Separación media de los zunchos, cm	108		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	No accesible		
Inclinación (desplome) respecto del norte	N60W	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal No accesible
Esbeltez (a/b)	9,57	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	26 x 12,5 x 7	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	1 - 1,5		

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input checked="" type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas


Foto 1: Fisura tratada causada, aparentemente, por tracciones térmicas



Foto 2: Fisura tratada causada, aparentemente, por tracciones térmicas

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes,tendidos,etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Musgos y pátina negra



Foto 2: Anclajes (escaleras)



Foto 3: Eflorescencias



Foto 4: Pátina biogénica



Foto 5: Modificaciones antrópicas y eflorescencias



Foto 6: Anclajes y desagregación



Foto 7: Pátina negra



Foto 8: Desagregación



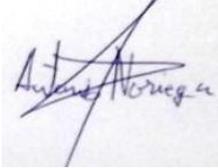
Foto 9: Procesos patológicos agravados en la parte superior de la chimenea



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamientos verticales 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fatiga por variaciones térmicas por transferencia de calor de los gases interiores de la chimenea • Presión interior de los gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Inclínación de la chimenea en su parte superior 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerzas de viento superiores a cotas más altas 	
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Pátina biogénica y musgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de agua y humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocidas • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Aplicación de hidrofugantes
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación

7. Personal:

<p>Alumno: Antonio Noriega Arena <i>Alumno de Grado en Ingeniería Civil</i></p>  <p><i>Firma</i></p>	<p>Director del Trabajo Fin de Grado: Ignacio Lombillo Vozmediano <i>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i></p>  <p><i>Firma</i></p>
--	---

FICHA DE TOMA DE DATOS
1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Barrio Baldelazón 14, CP: 39720	Coordenadas UTM: 43.361665, -3.712270
Localidad: La Cavada	Municipio: Riotuerto
	Comarca: Trasmiera

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Fábrica de textiles La Montañesa
----------------------------	--

Descripción gráfica: La chimenea está cimentada en una base de sillería



Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Cimentación de sillería

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	2102	<p>Aparejo a tizones</p>	No accesible
Altura de la base (si visible), cm	240		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	270		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	No accesible		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	7,79	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	25 x 12 x 5,5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	2		No accesible

4. Defectos por acciones mecánicas

<i>Giros/Desplomes de la cimentación</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por fallo local</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por aplastamiento de las piezas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por flexión</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por pandeo</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por retracción del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por variaciones térmicas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por corrosión de armaduras</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

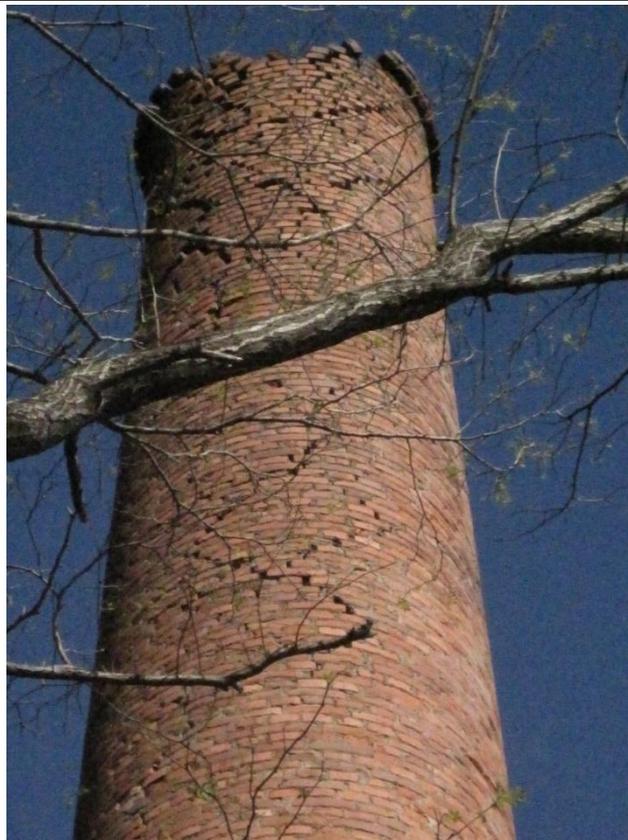


Foto 1: Fisura ascendente en zigzag

Observación: Las fisuras por torsión presentan agrietamientos a 45 grados. No obstante, el agrietamiento en zigzag se daría si el esfuerzo fuera en ambos sentidos. Este caso es bastante improbable por lo que, a modo de hipótesis, la grieta pudo haber sido producida por las tracciones ocasionadas por la ascensión de alguna planta (tipo enredadera) que haya sido retirada con posterioridad. No se descarta las acciones de tipo térmico como causante de la grieta.

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>

Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)	<input type="checkbox"/>	Líquenes y musgos	<input type="checkbox"/>
Vegetación herbácea o arbustiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Deposiciones animales	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Desagregación



Foto 2: Eflorescencias



Foto 3: Vegetación herbácea y arbustiva y pátina biogénica en zonas de acumulación de agua



Foto 4: Vegetación arbustiva



Foto 5: Desagregación



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

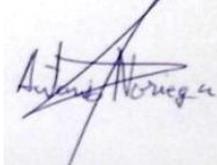
<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento en zigzag 	<ul style="list-style-type: none"> • Ascenso de una especie arbustiva • Acciones térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Pátina biogénica 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de agua y humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocidas • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Aplicación de hidrofugantes
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación
<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparición de grietas donde se acumula un protosuelo donde crece vegetación casmofítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica

7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil



Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Barrio La Tejera 154, CP: 39620

Coordenadas UTM: 43.328007, -3.856045

Localidad: Sarón

Municipio: Santa María de Cayón

Comarca: Pas - Miera - Pisuenga

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno

Uso histórico: Tejera de ladrillos Antonio Lavín Cobo desde 1916 hasta 1984

Descripción gráfica: El acceso al pie de la chimenea es imposible debido al colapso de la estructura de la tejera

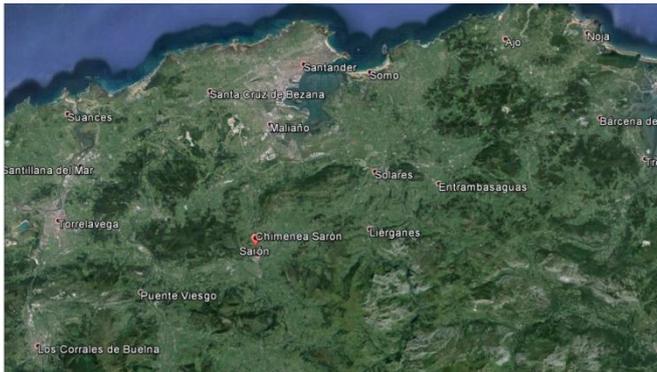


Foto 1: Ubicación de la chimenea

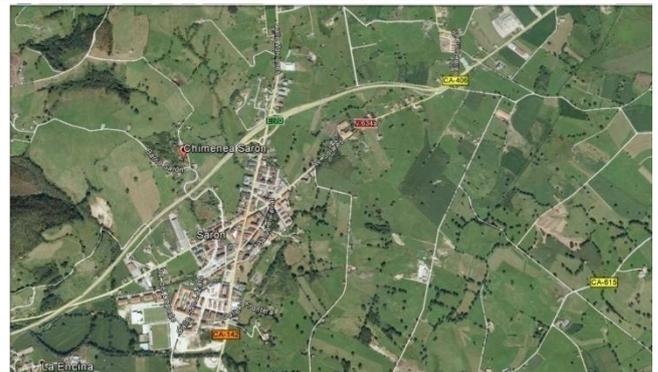


Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Entrada de humos a la chimenea

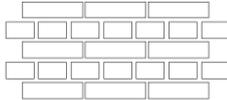


Foto 5: Vista de la chimenea desde la estructura colapsada de la tejera



Foto 6: Vista de la chimenea desde la estructura colapsada de la tejera

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Cuadrada	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	2786	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	No visible	 <p>Aparejo inglés</p>	No accesible
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	250 (aprox. ver obs.)		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido		
Inclinación respecto del norte	N90W	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	11,14	Desconocido	No accesible
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	Desconocido	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	Desconocido	Desconocido	

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input checked="" type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas


Foto 1: Fisura vertical en la cara norte de la chimenea



Foto 2: Grieta vertical en la cara este de la chimenea



Foto 3: Fisura vertical en el remate en la cara oeste de la chimenea



Foto 4: Fisuras en la cara este del remate

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Pátina negra



Foto 2: Vegetación arbustiva



Foto 3: Desagregación



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamientos verticales 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fatiga por variaciones térmicas por transferencia de calor de los gases interiores de la chimenea • Presión interior de los gases • Tracciones ocasionadas por la vegetación arbustiva (grieta norte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparición de grietas donde se acumula un protosuelo donde crece vegetación casmofítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica

7. Observaciones

Para estimar la anchura de la chimenea en la parte inferior se han hecho una serie de deducciones. En una altura equivalente al quinto inferior de la chimenea se han contado un total de 16 tizones con la ayuda de la lente de la estación total. Suponiendo una longitud de tizón de 12 centímetros y un espesor de mortero de 2 centímetros da una anchura de 222 centímetros. Estimando la progresión hacia el inferior y junto con los testimonios de vecinos del barrio que trabajaron en la tejera se estima finalmente la anchura de 250 centímetros.

8. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Industria Nestlé CP: 3960	Coordenadas UTM: 43.315153, -3.881976
Localidad: La Penilla	Municipio: Santa María de Cayón
	Comarca: Pas - Miera - Pisuenga

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Actividades de la fábrica	Uso histórico: Construida en 1980 por el crecimiento de las necesidades de la fabrica
--	--

Descripción gráfica: Esta chimenea no es puramente de ladrillo sino que el fuste está construido de hormigón y tiene un revestimiento interior de ladrillo refractario que constituye el conducto vertical de humos y la protección del fuste. Entre el fuste y el trasdós de la fábrica de ladrillo se dispone una cámara de aire ventilada visitable. No obstante, se incluye en las fichas porque nos permitieron la visita pensando que era de fábrica de ladrillo.

El objetivo de la chimenea es la evacuación de los gases procedentes de las calderas de fuel-oil para la producción de vapor y de los hornos para producción de aire caliente. El caudal de estos gases es de 101500 m³/h como máximo a una temperatura de 210°C en la entrada de la chimenea.

Sobre el fuste de hormigón, mediante apoyos, anclados al mismo, sobre los que gravitan vigas anulares, se sustenta el revestimiento cerámico. Este conducto está formado por tres tramos, de 9 metros el primero, y de 12,50 los dos restantes. Entre los diferentes tramos, se disponen juntas de dilatación estancas y selladas que permiten el libre movimiento entre tramos.

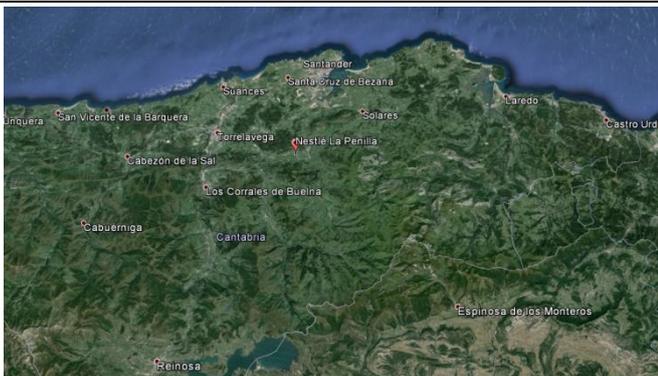


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal

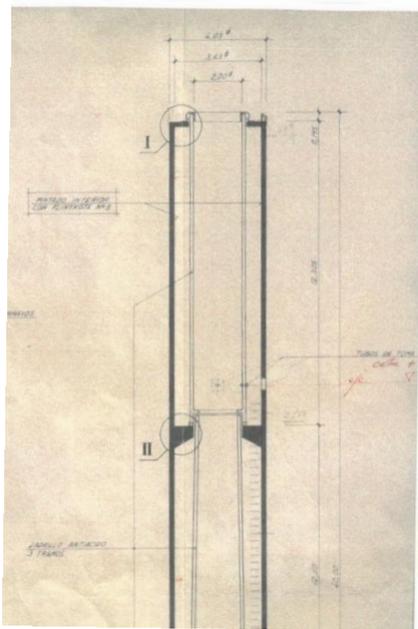


Foto 4: Vista cercana de la chimenea

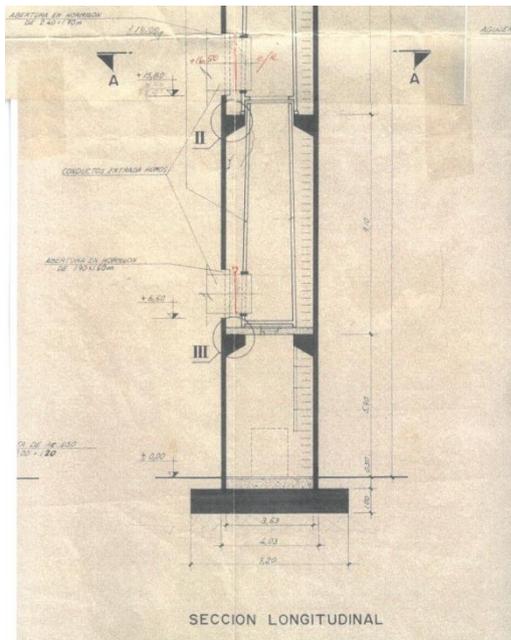


Foto 3: Plano en alzado de la chimenea

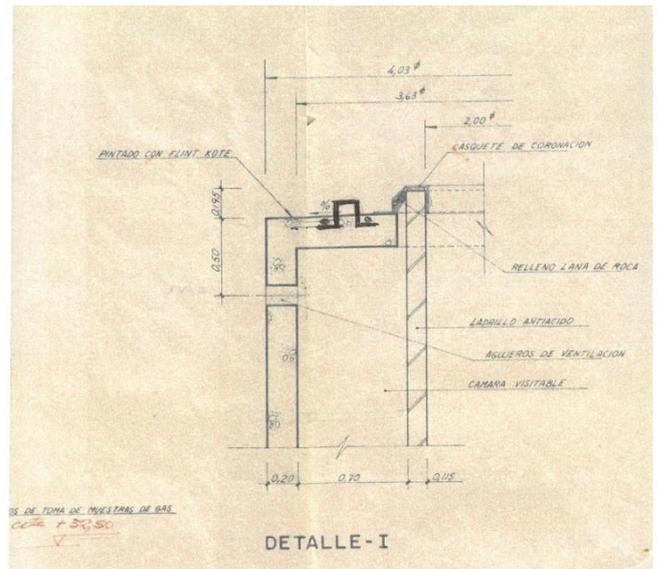


Foto 5: Detalle 1

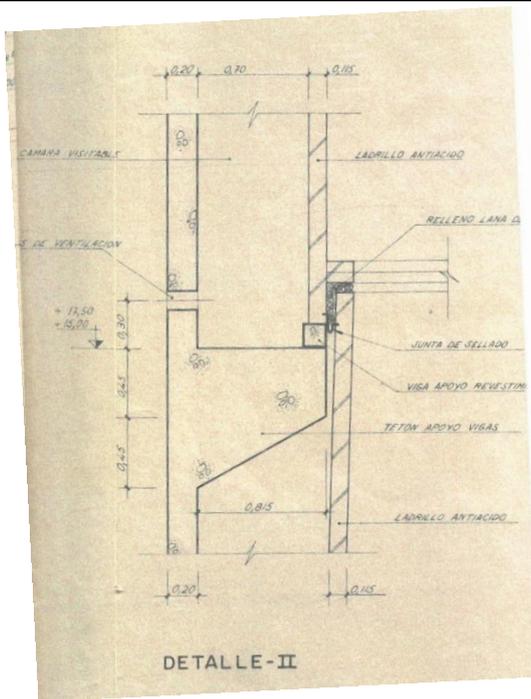


Foto 6: Detalle 2

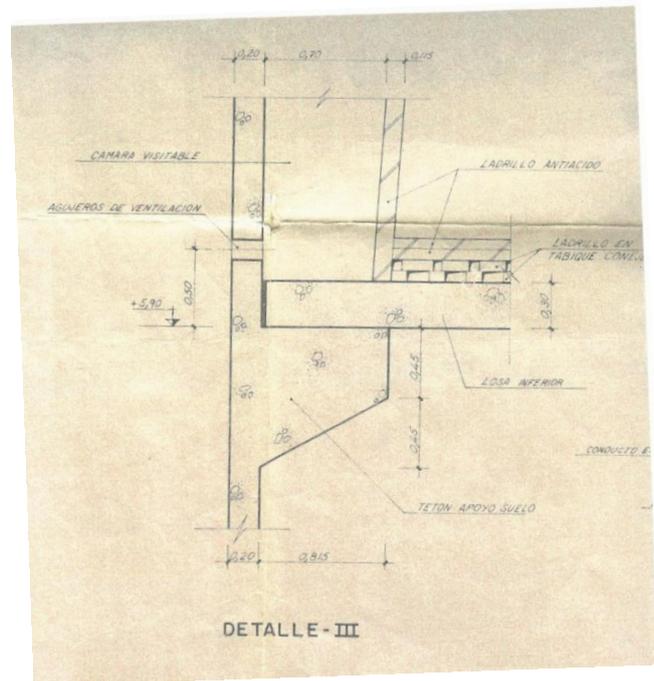


Foto 7: Detalle 3

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	4000	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	No visible, 100	 Aparejo de sogas	 Aparejo de sogas
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	403		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	11,5		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	9,93	1	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	23 x 11,5 x 6,5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)			
Espesor de junta de mortero, cm	0,5		

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>



Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

No existen defectos por acciones mecánicas

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes,tendidos,etc.)</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales

No existen defectos superficiales

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
.	.	.

7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena
Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Barrio Ciella 5 CP: 39212	Coordenadas UTM: 43.001439, -4.158855
Localidad: Nestares	Municipio: Campoo de Enmedio
	Comarca: Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Chimenea de la antigua harinera de Nestares
----------------------------	---

Descripción gráfica:

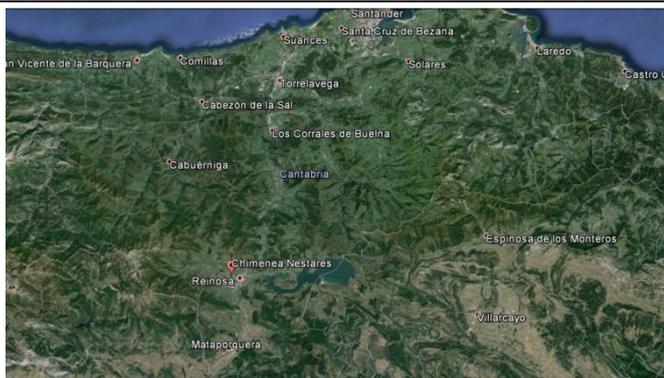


Foto 1: Ubicación de la chimenea

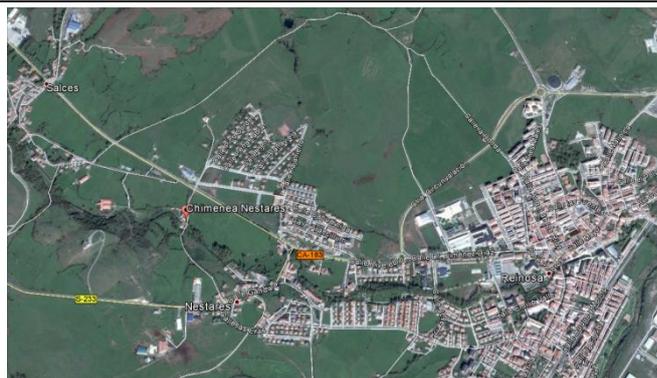


Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea

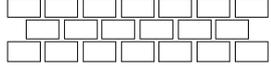
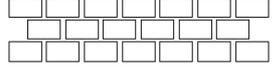


Foto 4: Boca de la chimenea



Foto 5: Interior de la chimenea y escalera metálica


3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	1644	 Aparejo a tizones	 Aparejo a tizones
Altura de la base (si visible), cm	No visible		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	220		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	60		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Inclinación respecto del norte	No		
Esbeltez (a/b)	7,47	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal 
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	24 x 12 x 5	3	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	¿Existencia de traba? (S/N)	
Espesor de junta de mortero, cm	1,5	No	

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>
Ejemplos de defectos por acciones mecánicas	
La chimenea no presenta defectos por acciones mecánicas	

5. Defectos superficiales

Pátina negra	<input type="checkbox"/>	Pátina biogénica	<input type="checkbox"/>
Costras	<input type="checkbox"/>	Eflorescencias	<input checked="" type="checkbox"/>
Criptoflorescencias	<input type="checkbox"/>	Exfoliación/Desplacado	<input type="checkbox"/>
Picadura o disolución del material	<input type="checkbox"/>	Desagregación / Erosión eólica	<input checked="" type="checkbox"/>
Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)	<input type="checkbox"/>	Líquenes y musgos	<input type="checkbox"/>
Vegetación herbácea o arbustiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Deposiciones animales	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Eflorescencias



Foto 2: Desagregación



Foto 3: Eflorescencias



Foto 4: Vegetación arbustiva

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> Envejecimiento/Erosión eólica Por incremento de presiones debido a expansión de sales Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> Desalinización Electrolixiviación
<ul style="list-style-type: none"> Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> Aparición de grietas donde se acumula un protosuelo donde crece vegetación casmofítica 	<ul style="list-style-type: none"> Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica



7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Barrio Arroyo 47, Complejo industrial de La Cantábrica CP: 39213 **Coordenadas UTM:** 42.971929, -4.060219

Localidad: Arroyo **Municipio:** Las Rozas de Valdearroyo **Comarca:** Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno **Uso histórico:** Fábrica de vidrio "La Cantábrica"

Descripción gráfica:

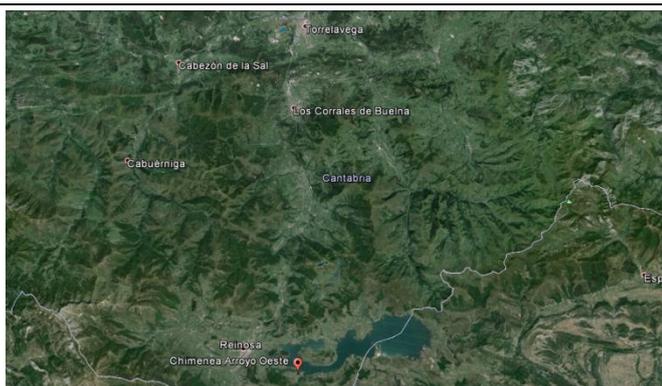


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Vista del aparejo

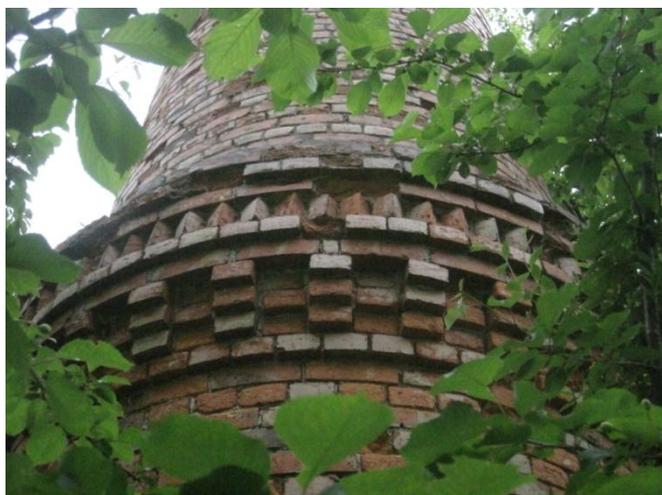
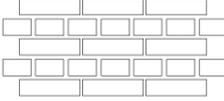


Foto 5: Detalle del ensanche de la chimenea en el fuste

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	1061	 Aparejo inglés	No accesible
Altura de la base (si visible), cm	130		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	215		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	86		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	4,93	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	24 x 11,5 x 6,5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	1,5		No accesible

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

La chimenea no presenta defectos por acciones mecánicas salvo un grave deterioro del coronamiento. Se deduce que la chimenea pudo ser más alta en los años de funcionamiento. No se encontraron grandes restos de una posible destrucción de la construcción.



Foto 1: Deterioro del coronamiento

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes,tendidos,etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Pátina negra



Foto 2: Líquenes y musgos



Foto 3: Eflorescencias



Foto 4: Procesos severos de desagregación



Foto 5: Modificaciones antrópicas



Foto 6: Vegetación herbácea o arbustiva



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> Envejecimiento/Erosión eólica Por incremento de presiones debido a expansión de sales Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO_3, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> Pátina negra 	<ul style="list-style-type: none"> Suciedad por los gases expulsados Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> Chorro de arena húmedo Chorro de agua a presión Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> Líquenes y musgos 	<ul style="list-style-type: none"> Toma de nutrientes del protosuelo acumulado en las pequeñas grietas de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de biocidas. Remover previamente con una espátula y aplicar hipoclorito de litio en solución acuosa
<ul style="list-style-type: none"> Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> Desalinización Electrolixiviación
<ul style="list-style-type: none"> Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> Aparición de grietas donde se acumula un protosuelo donde crece vegetación casmofítica 	<ul style="list-style-type: none"> Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica

7. Personal:

<p>Alumno: Antonio Noriega Arena <i>Alumno de Grado en Ingeniería Civil</i></p>  <p><i>Firma</i></p>	<p>Director del Trabajo Fin de Grado: Ignacio Lombillo Vozmediano <i>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i></p>  <p><i>Firma</i></p>
--	---

FICHA DE TOMA DE DATOS
1. Datos geográficos de la chimenea:
Dirección: Barrio Arroyo 47, Complejo industrial de La Cantábrica CP: 39213 **Coordenadas UTM:** 43.004032, -4.110472

Localidad: Arroyo **Municipio:** Las Rozas de Valdearroyo **Comarca:** Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:
Uso actual: Ninguno **Uso histórico:** Fábrica de vidrio "La Cantábrica"

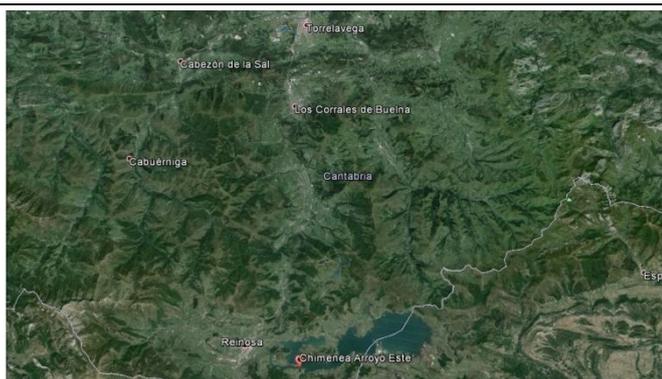
Descripción gráfica:


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Aparejo de la chimenea

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Cuadrada	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	1505	<p>Aparejo inglés</p>	No accesible
Altura de la base (si visible), cm	No visible		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	150		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	Ninguno		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido	¿Nº de hojas? Desconocido ¿Existencia de traba? (S/N) Desconocido	Croquis sección transversal No accesible
Inclinación respecto del norte	No		
Esbeltez (a/b)	10,03		
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	26 x 12 x 6,5		
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal		
Espesor de junta de mortero, cm	1,5 - 2		

4. Defectos por acciones mecánicas

<i>Giros/Desplomes de la cimentación</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por fallo local</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por aplastamiento de las piezas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por flexión</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por pandeo</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por retracción del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por variaciones térmicas</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Fisuras por corrosión de armaduras</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas



Foto 1: Agrietamiento vertical

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Desagregación



Foto 2: Modificaciones antrópicas

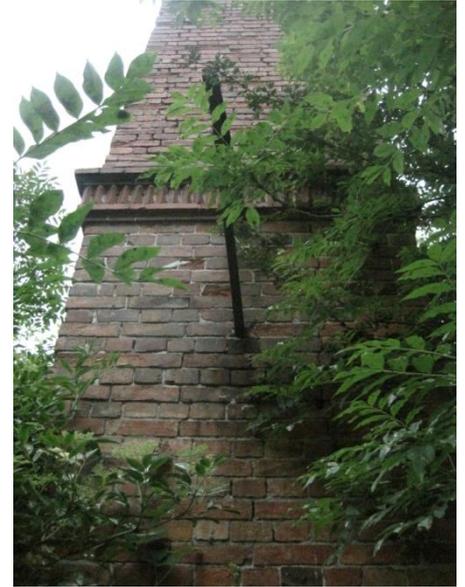


Foto 3: Modificaciones antrópicas



Foto 4: Modificaciones antrópicas



Foto 5: Pátina biogénica



Foto 6: Desplacado/Exfoliación



Foto 7: Vegetación herbácea o arbustiva



Foto 8: Pátina negra

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamientos verticales 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fatiga por variaciones térmicas por transferencia de calor de los gases interiores de la chimenea • Presión interior de los gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Pátina biogénica 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de agua y humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocidas • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Aplicación de hidrofugantes
<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación herbácea o arbustiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparición de grietas donde se acumula un protosuelo donde crece vegetación casmofítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de biocidas que sequen la vegetación para su posterior retirada sin producir daños a la fábrica
<ul style="list-style-type: none"> • Desplacado/Exfoliación 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentos de volumen de las sales internas que provocan presiones internas en la matriz rocosa, ocasionando roturas por planos de debilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero

7. Personal:
Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma
Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: CA – 171ª en la salida este de Requejo CP: 39292 **Coordenadas UTM:** 43.004032, -4.110472

Localidad: Requejo **Municipio:** Campoo de Enmedio **Comarca:** Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno **Uso histórico:** Fábrica de cerámicas

Descripción gráfica:

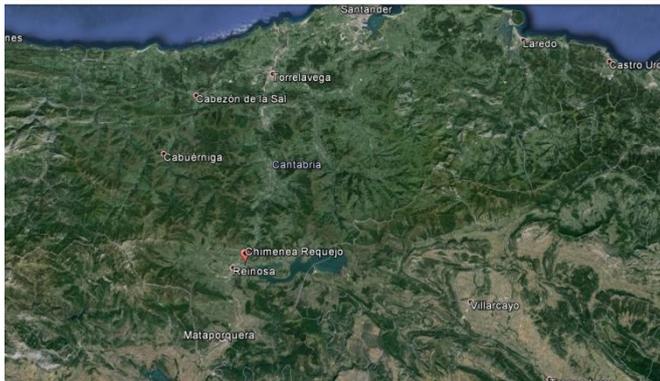


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal

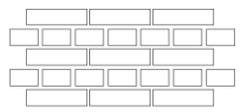


Foto 3: Vista cercana de la chimenea



Foto 4: Base de la chimenea

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	1597	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	300	 <p>Aparejo inglés</p>	No accesible
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	215		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido		
Inclinación respecto del norte	No		
Esbeltez (a/b)	7,42	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	Desconocido	Desconocido	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Desconocido	¿Existencia de traba? (S/N)	
Espesor de junta de mortero, cm	Desconocido	Desconocido	

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por variaciones térmicas	<input checked="" type="checkbox"/>
Fisuras por corrosión de armaduras	<input type="checkbox"/>
Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas


Foto 1: Grieta vertical en el coronamiento

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes,tendidos,etc.)</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Desagregación en la cara norte de la chimenea.



Foto 2: Eflorescencias

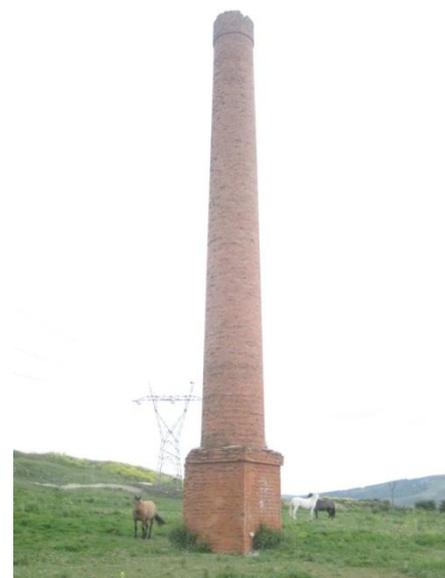


Foto 3: Desagregación en la cara sur de la chimenea.

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento en zigzag 	<ul style="list-style-type: none"> • Ascenso de una especie arbustiva • Acciones térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación



7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Calle Alejandro de Calonge, 1ª CP: 39200

Coordenadas UTM: 42.991522, -4.135433

Localidad: Reinosa

Municipio: Reinosa

Comarca: Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno

Uso histórico: Expulsión de humos resultantes de las actividades de la pequeña forja

Descripción gráfica:

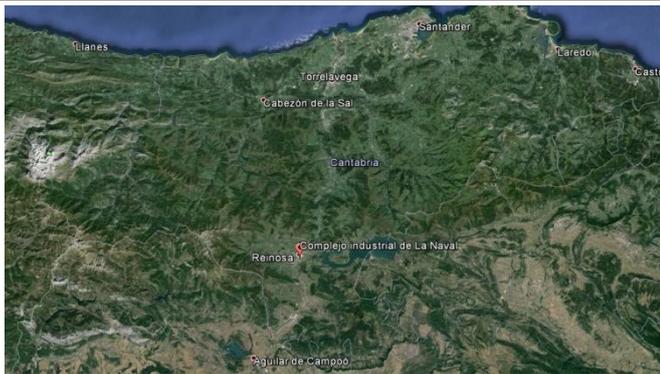


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (imagen satélite)

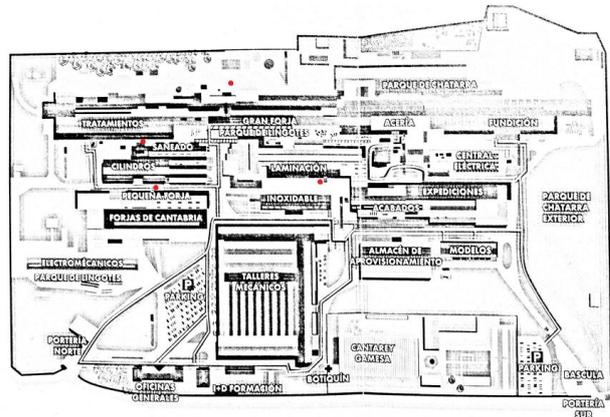


Foto 4: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (plano)



Foto 5: Vista general de la chimenea



Foto 6: Acceso a la chimenea

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	2201	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	65	<p>Aparejo flamenco</p>	No accesible
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	337		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	12		
Separación media de los zunchos, cm	180		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	6,53	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	26,5 x 12 x 4,5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	0,5 – 1		No accesible

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>

<i>Fisuras por retracción del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por variaciones térmicas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por corrosión de armaduras</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>
Ejemplos de defectos por acciones mecánicas	
La chimenea no presenta defectos por acciones mecánicas	

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Pátina negra



Foto 2: Zunchos metálicos



Foto 3: Eflorescencias



Foto 4: Foco de iluminación



Foto 5: Desagregación



Foto 6: Criptoflorescencias



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias/Criptoflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación

7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena

Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Calle Alejandro de Calonge, 1ª CP: 39200	Coordenadas UTM: 42.991361, -4.134501
Localidad: Reinosa	Municipio: Reinosa
	Comarca: Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Expulsión de humos resultantes de las actividades del saneado
----------------------------	---

Descripción gráfica:

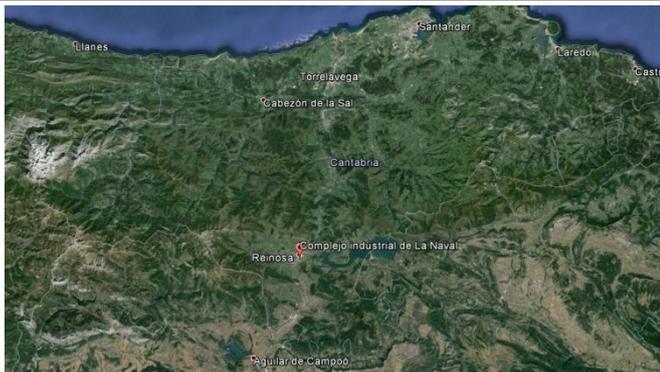


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (imagen satélite)

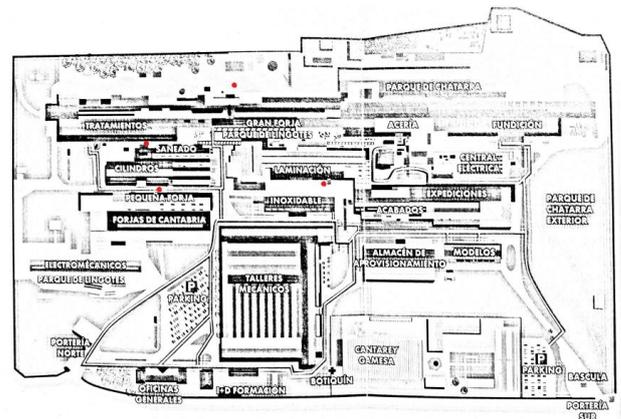


Foto 4: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (plano)



Foto 5: Vista general de la chimenea



Foto 6: Acceso a la chimenea

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	2752	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	70	<p>Aparejo flamenco</p>	No accesible
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	359		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	14		
Separación media de los zunchos, cm	196		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	7,66	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	24 x 11,5 x 5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	0,5 - 1		No accesible

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>

Fisuras por variaciones térmicas

Fisuras por corrosión de armaduras

Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

La chimenea no presenta defectos por acciones mecánicas

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Pátina negra



Foto 2: Zunchos metálicos



Foto 3: Tendido eléctrico



Foto 4: Foco de iluminación y anclajes (escaleras)



Foto 5: Desagregación



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero

7. Personal:

<p>Alumno: Antonio Noriega Arena <i>Alumno de Grado en Ingeniería Civil</i></p>  <p><i>Firma</i></p>	<p>Director del Trabajo Fin de Grado: Ignacio Lombillo Vozmediano <i>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i></p>  <p><i>Firma</i></p>
---	--

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Calle Alejandro de Calonge, 1ª CP: 39200	Coordenadas UTM: 42.990238, -4.134443
Localidad: Reinosa	Municipio: Reinosa
	Comarca: Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Expulsión de humos resultantes de las actividades de la gran forja
----------------------------	--

Descripción gráfica:

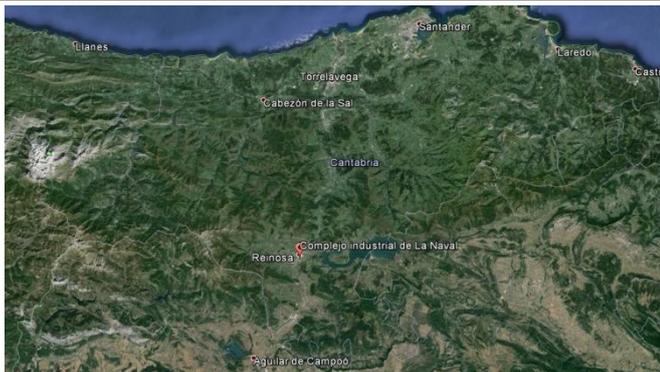


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (imagen satélite)

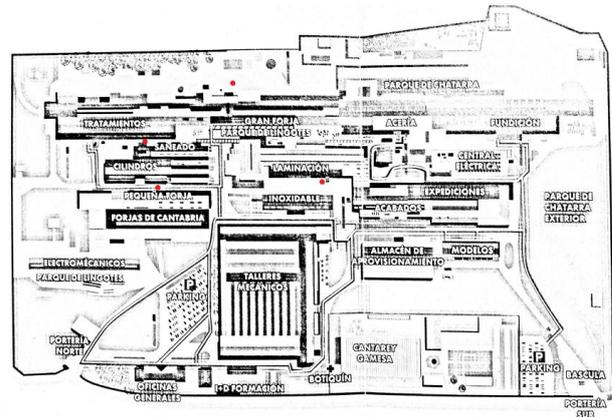


Foto 4: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (plano)



Foto 5: Vista general de la chimenea



Foto 6: Acceso a la chimenea

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
Altura del tubo (a), cm	2980	Exterior	Interior (si accesible)
Altura de la base (si visible), cm	58	<p>3 sogas y 3 tizones</p>	No accesible
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	420		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	28		
Separación media de los zunchos, cm	106		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	Desconocido		
Inclinación respecto del norte	No	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Esbeltez (a/b)	7,1	Desconocido	
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	24 x 11,5 x 6,5	¿Existencia de traba? (S/N)	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	Desconocido	
Espesor de junta de mortero, cm	1,5		No accesible

4. Defectos por acciones mecánicas

Giros/Desplomes de la cimentación	<input type="checkbox"/>
Fisuras por fallo local	<input type="checkbox"/>
Fisuras por aplastamiento de las piezas	<input type="checkbox"/>
Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero	<input type="checkbox"/>
Fisuras por flexión	<input type="checkbox"/>
Fisuras por pandeo	<input type="checkbox"/>
Fisuras por retracción del mortero	<input type="checkbox"/>

Fisuras por variaciones térmicas



Fisuras por corrosión de armaduras



Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)



Ejemplos de defectos por acciones mecánicas



Foto 1: Fisura tratada



Foto 2: Fisura vertical



Foto 3: Fisura tratada



Foto 4: Fisura tratada



Foto 5: Fisura tratada



Foto 6: Plastificación del anclaje por apertura de fisura

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Criptoflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Anclajes



Foto 2: Zunchos metálicos



Foto 3: Eflorescencias



Foto 4: Desagregación



Foto 5: Pátina negra

6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamientos verticales 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de fatiga por variaciones térmicas por transferencia de calor de los gases interiores de la chimenea • Presión interior de los gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de ligante a muy baja presión en las grietas de la fábrica. Se requiere una limpieza previa y el sellado de las posibles salidas de pasta
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Eflorescencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Migración y evaporación de agua que contiene sales solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Desalinización • Electrolixiviación

7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena
Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma



FICHA DE TOMA DE DATOS

Fecha: 27/04/2016

Ref.: CHIM_N11

CHIMENEA: LA NAVAL – GRAN FORJA

Pág.5 de 4

FICHA DE TOMA DE DATOS

1. Datos geográficos de la chimenea:

Dirección: Calle Alejandro de Calonge, 1ª CP: 39200	Coordenadas UTM: 42.989937, -4.136776
Localidad: Reinosa	Municipio: Reinosa
	Comarca: Campoo

2. Descripción general de la chimenea y uso:

Uso actual: Ninguno	Uso histórico: Expulsión de humos resultantes de las actividades de la laminación
----------------------------	--

Descripción gráfica:

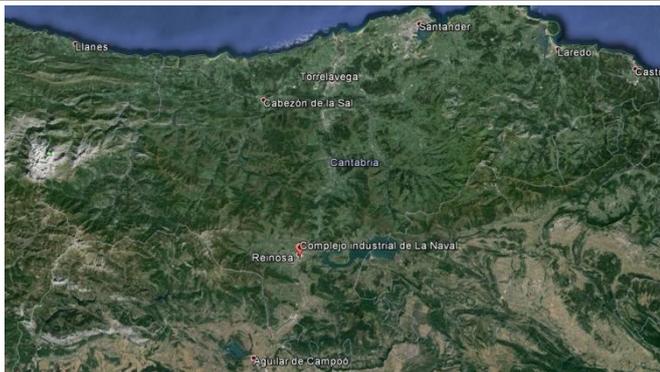


Foto 1: Ubicación de la chimenea



Foto 2: Ubicación de la chimenea en el entorno municipal



Foto 3: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (imagen satélite)

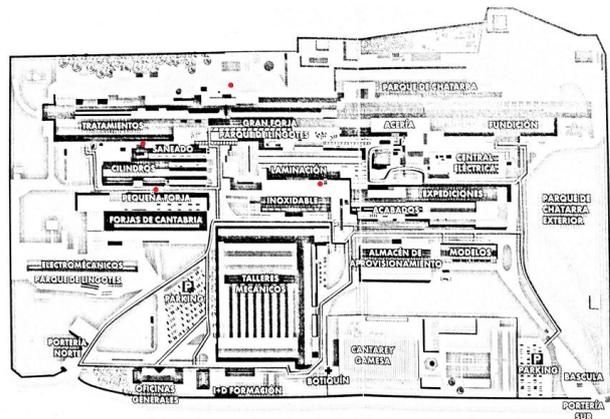


Foto 4: Distribución de las chimeneas dentro de la fábrica (plano)



Foto 5: Vista general de la chimenea



Foto 6: Acceso a la chimenea



Foto 7: Interior de la chimenea. Entrada de humos

3. Datos geométricos de la chimenea:

Forma del tubo	Circular	Tipología de aparejos (exterior e interior)	
		Exterior	Interior (si accesible)
Altura del tubo (a), cm	2887	<p>3 sogas y 3 tizones</p>	<p>Aparejo de sogas</p>
Altura de la base (si visible), cm	No visible		
Diámetro exterior del tubo en parte inferior (b), cm	337		
Número de zunchos en el fuste de la chimenea	1		
Separación media de los zunchos, cm	No procede		
Espesor de la chimenea en parte inferior (t), cm	80		
Inclinación respecto del norte	No		
Esbeltez (a/b)	8,56	¿Nº de hojas?	Croquis sección transversal
Dimensiones ladrillos (soga x tizón x grueso), cm	24,5 x11,5 x 6,5	Desconocido	
Tipología del mortero (Cal / Cemento / Cal-Cemento)	Cal	¿Existencia de traba? (S/N)	
Espesor de junta de mortero, cm	1	Desconocido	


4. Defectos por acciones mecánicas

<i>Giros/Desplomes de la cimentación</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por fallo local</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por aplastamiento de las piezas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por tracciones locales derivadas del aplastamiento del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por flexión</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por pandeo</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por retracción del mortero</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por variaciones térmicas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por corrosión de armaduras</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Fisuras por acciones accidentales (impactos, etc.)</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos por acciones mecánicas

La chimenea no presenta defectos por acciones mecánicas

5. Defectos superficiales

<i>Pátina negra</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pátina biogénica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Costras</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Eflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Criptoeflorescencias</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Exfoliación/Desplacado</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Picadura o disolución del material</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Desagregación / Erosión eólica</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Modificaciones antrópicas (anclajes, tendidos, etc.)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Líquenes y musgos</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
<i>Vegetación herbácea o arbustiva</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Deposiciones animales</i>	<input type="checkbox"/>

Ejemplos de defectos superficiales



Foto 1: Vegetación herbácea



Foto 2: Musgos y pátina biogénica



Foto 3: Pátina biogénica por efecto del agua descendente de canalón



Foto 4: Zuncho metálico y foco de iluminación



Foto 5: Anclajes (escaleras) y pátina negra



Foto 6: Vegetación arbustiva



Foto 7: Desagregación



Foto 8: Desagregación



6. Relación entre defectos y causas aparentes. Posible terapéutica

<u>Defectos</u>	<u>Causas</u>	<u>Posible terapéutica</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Patina negra 	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad por los gases expulsados • Envejecimiento de la fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Agentes ácidos
<ul style="list-style-type: none"> • Desagregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento/Erosión eólica • Por incremento de presiones debido a expansión de sales • Por disolución de los silicatos presentes en los ladrillos. • Por hidrólisis de los silicatos presentes en los ladrillos dando lugar a minerales arcillosos más blandos. • En caso de que las arcillas cerámicas empleadas en la fabricación de ladrillos contuviesen cierta cantidad de CaCO₃, por hidratación de posibles silicatos cálcicos, dando lugar a aumentos de volumen que derivan en presiones internas y la consecuente desagregación. • Por la posible congelación de agua contenida en los poros del material (crioclastia) que genera incrementos de volumen y presiones internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción mediante mortero
<ul style="list-style-type: none"> • Pátina biogénica y musgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de agua y humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocidas • Chorro de arena húmedo • Chorro de agua a presión • Aplicación de hidrofugantes

7. Personal:

Alumno:

Antonio Noriega Arena
Alumno de Grado en Ingeniería Civil

Firma

Director del Trabajo Fin de Grado:

Ignacio Lombillo Vozmediano
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Firma