

LA CAL

FRANCISCO JAVIER ALEJANDRE SÁNCHEZ
VICENTE FLORES ALÉS
FRANCISCO JAVIER BLASCO LÓPEZ
JUAN JESÚS MARTÍN DEL RÍO
(coordinadores)

LA CAL
INVESTIGACIÓN,
PATRIMONIO Y RESTAURACIÓN



SECRETARIADO DE PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Sevilla 2014

Serie: Arquitectura
Núm.: 33

COMITÉ EDITORIAL:

Antonio Caballos Rufino
(Director del Secretariado de Publicaciones)
Eduardo Ferrer Albelda
(Subdirector)

Manuel Espejo y Lerdo de Tejada
Juan José Iglesias Rodríguez
Juan Jiménez-Castellanos Ballesteros
Isabel López Calderón
Juan Montero Delgado
Lourdes Munduate Jaca
Jaime Navarro Casas
M^a del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado
Adoración Rueda Rueda
Rosario Villegas Sánchez

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Motivo de cubierta: Restauración con jalbegas de cal de las policromías del revestimiento exterior de la torre de la iglesia de Santa María la Blanca de Fuentes de Andalucía (Sevilla).

Diseño de cubierta: Pastora Navarro Romero y Marina Gil Conde.

© SECRETARIADO DE PUBLICACIONES
DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2014
C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.
Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443
Correo electrónico: secpub4@us.es
Web: <<http://www.publius.us.es>>

© POR LOS TEXTOS, SUS AUTORES 2014

© FRANCISCO JAVIER ALEJANDRE SÁNCHEZ, VICENTE FLORES ALÉS,
FRANCISCO JAVIER BLASCO LÓPEZ, JUAN JESÚS MARTÍN DEL RÍO
(COORDS.) 2014

Impreso en papel ecológico
Impreso en España-Printed in Spain

ISBN: 978-84-472-1507-2
Depósito Legal: SE 318-2014
Impresión: Kadmos

ÍNDICE

Prólogo.....	9
Preámbulo. Estructura de la producción de cal en España..... RAFAEL FERNÁNDEZ ALLER	13
INVESTIGACIÓN	
La cal en el antiguo Egipto..... ANTONIA NAVARRO, JUDITH RAMÍREZ-CASAS, AGUSTÍ GAMARRA y MYRIAM SECO	27
Estudios de morteros de cal en pasta y en polvo para su empleo en proyectos de intervención del IAPH (Sevilla)..... JESÚS ESPINOSA GAITÁN	39
Estudio de cales hidratadas calcíticas y dolomíticas: influencia de la microestructura y propiedades reológicas en la calidad de los morteros..... ANNA ARIZZI y GIUSEPPE CULTRONE	53
Aplicaciones de la cal en la obra civil: la estabilización de suelos arcillosos..... JUAN DIEGO BAUZÁ CASTELLÓ	63
Otras aplicaciones de la cal en ingeniería civil..... ÁNGEL SAMPEDRO RODRÍGUEZ	81
Novedades en el mercado CE de cal para construcción..... EVA NAVARRO SANTOLARIA	91
Cuestiones de nomenclatura..... JOAN RAMÓN ROSELL y JUDITH RAMÍREZ-CASAS	105

PATRIMONIO

Idoneidad de los morteros de cal para revestimientos en restauración patrimonial.....	119
JOSÉ MARÍA CALAMA RODRÍGUEZ	
Propuestas de salvaguardia de la actividad calera en Santa Ana la Real (Huelva).....	135
ANICETO DELGADO MÉNDEZ	
Una de cal y una de arena. La producción de cal en el atlas del patrimonio inmaterial de Andalucía.....	149
GEMA CARRERA DÍAZ y ALESSANDRA OLIVI	
La restauración de tapias históricas de hormigón de cal.....	167
PEDRO GURRIARÁN DAZA y DJAPHAR SNACEL SÁNCHEZ	
Ennoblecimiento de la arquitectura con morteros de cal, en restauración y en obras de nueva planta.....	189
MARÍA DOLORES ROBADOR GONZÁLEZ	

RESTAURACIÓN

Las técnicas de la cal, apuntes para su conservación y restauración	201
CARLOS NÚÑEZ GUERRERO	
Experiencia de restauración con morteros de cal en el castillo de San Romualdo.....	217
JOSÉ CARLOS SÁNCHEZ ROMERO, MARIANO DELGADO CORDERO, MIGUEL PORTILLA CASTILLO y ANTONIO J. SÁNCHEZ FERNÁNDEZ	
Aplicaciones de los morteros de cal en restauración. Intervención en la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla.....	237
JUAN RAMÓN BAEZA ÁLVAREZ	
Uso de morteros de cal en la restauración de las pinturas murales de los baños de Doña María de Padilla del Real Alcázar de Sevilla.	259
M ^a ISABEL BACEIREDO RODRÍGUEZ	

LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA DE LA CAL Y SUS APLICACIONES EN EDIFICACIÓN

La cal y sus aplicaciones. Enseñanza y propuestas de aprendizaje en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.....	277
M ^a REYES RODRÍGUEZ y ANA M ^a GONZÁLEZ	
La cal en las asignaturas de materiales en los planes de estudio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de Sevilla.	297
FRANCISCO JAVIER BLASCO LÓPEZ	

PRÓLOGO

Define el diccionario de la Real Academia, en su primera acepción, la cal como “*Óxido de calcio. Sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que, al contacto del agua, se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor, y, mezclada con arena, forma la argamasa o mortero*”. Desde su primera acepción terminológica la cal aparece asociada a la construcción, como no podía ser de otra manera.

La cal es uno de los materiales unidos a la historia de la construcción desde el inicio de los tiempos, lo que no es óbice para que a día de hoy se pueda seguir considerando como un material plenamente actual, con nuevas aplicaciones, y con un desarrollo investigador y tecnológico que posibilita nuevos empleos, mejora de las utilidades conocidas y mayor durabilidad de los productos derivados.

Aparecen con la definición, términos ligados a cal derivados de sus usos constructivos, como la *cal apagada, hidráulica, muerta o viva*. Así como formas coloquiales y locuciones que utilizan la cal como elemento, así se puede alternar “*una de cal y otra de arena*” o cerrar algo “*a cal y canto*”. La cal forma parte del acervo histórico, estando presente en nuestras vidas como elemento cercano e insoluble a elementos constructivos que llegan a ser formas de vida. Las históricas construcciones de la Hispania Romana con la cal como aglomerante. La combinación musulmana de los usos de la cal y el yeso. El encalado forma parte de la tradición ancestral de los pueblos de Andalucía. El uso de la cal en los adobes castellanos. Las fábricas ejecutadas y revestidas con morteros de cal a todo lo largo de la geografía de España.

La cercanía geográfica de un material como la cal ha dado lugar, a largo de la historia, a que haya sido un material especialmente cercano y al que estamos vinculados desde el conocimiento previo que dan nuestras calles, nuestras casas y nuestra cultura desde hace siglos.

La cal en definitiva, como material de construcción con el que hemos convivido a lo largo de los siglos y con el que habremos de seguir conviviendo por su pujanza como material actual. La investigación científica permite el desarrollo de nuevos productos que facilitan a utilización del óxido de calcio en distintas formas. Un material que podía haber quedado en desuso por la dificultad de su tratamiento de preparación o lo compleja que, a veces, puede llegar a ser su manipulación, gana en fortaleza porque la investigación científica y tecnológica ha ido superando los escollos que podía suponer el arrinconamiento por el uso de conglomerantes de más sencillo tratamiento. Por ello, lejos de considerarse como un conglomerante en desuso, la cal es tratada en actual, versátil y con cada vez más posibilidades.

Nuestro patrimonio arquitectónico se asienta fuertemente sobre los productos derivados de la cal. Elementos estructurales, decorativos, revestimientos, ... se hacen presentes en el patrimonio monumental edificado de España, por lo que su correcto conocimiento es vital para la preservación del mismo, y ello se deriva en el correcto desarrollo de las técnicas de restauración, la compartición de experiencias y, en definitiva, de la transmisión de la cultura de la cal en toda su extensión. La correcta conservación de los elementos arquitectónicos realizados a partir de las cales y el buen uso de los productos de la cal incorporados a los edificios en las obras de restauración, conviven como ejes centrales de numerosas rehabilitaciones y restauraciones arquitectónicas

En consonancia con esta relevancia, nació hace unos años el Foro Ibérico de la Cal (FICAL), donde investigadores, profesionales e industriales de sector comparten experiencias con relación al material, sus materias primas, sus productos y sus aplicaciones. En el mes de septiembre de 2012 el Foro se reúne en Sevilla, por el carácter simbólico de la capital andaluza respecto a la cal. De esta reunión surge la necesidad de divulgar la investigación presentada y las experiencias profesionales dadas a conocer y que deben servir como base de un mejor conocimiento para los profesionales asentados en el uso de los productos de la cal y como plataforma de iniciación para estudiantes y técnicos con menor experiencia.

Los fines de FICAL son el desarrollo de la investigación, la formación y la difusión de la producción y uso de la cal. A partir de la finalidad formadora surge el interés por la formalización de un texto que recoja distintas líneas de investigación acerca del material y su estructura productiva; información sobre su carácter patrimonial, tanto inmaterial como cultural; y, por último, experiencias concretas sobre su utilización y aplicación en obras de restauración. A modo de anexo se incluyen dos textos sobre la estructura programática del tratamiento de las cales en los programas docentes de las Escuelas de Arquitectura e Ingeniería de Edificación de la Universidad de Sevilla, como información complementaria sobre la formación que los profesionales adquieren durante su etapa universitaria.

El comité científico para la selección y revisión de los trabajos ha estado formado por los doctores: Fco. Javier Alejandro Sánchez (Universidad de Sevilla), Fco. Javier Blasco López (Universidad de Sevilla), Giuseppe Cultrone (Universidad de Granada), Vicente Flores Alés (Universidad de Sevilla), Jesús Gadea Sainz (Universidad de Burgos), Juan J. Martín del Río (Universidad de Sevilla), Rosario Villegas Sánchez (Universidad de Sevilla).

Los editores quieren agradecer la colaboración prestada por los autores que han brindado su trabajo para este texto, así como las instituciones y entidades que lo hacen posible: la Universidad de Sevilla a través de su Vicerrectorado de Investigación, la E.T.S. de Ingeniería de Edificación; el Departamento de Construcciones Arquitectónicas II; y la asociación de fabricantes de cales ANCADE. Igualmente debe quedar patente el agradecimiento al Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla por su inestimable colaboración para que este texto sea una realidad.

El lector podrá acercarse a través de los diferentes capítulos a la diversidad y a la versatilidad de la cal. Podrá introducirse en la química y mineralogía de las distintas fases que componen los distintos productos, y que influyen de manera determinante en sus propiedades, aplicaciones y comportamiento en obra. Igualmente los capítulos sobre patrimonio y restauración exponen la riqueza cultural y las relevancia de intervenir con criterios claros y derivados del buen conocimiento del edificio, su construcción y sus materiales, lo que permitirá disfrutar a todas aquellas personas para las que la cal es mucho más que un material de construcción.

LOS COORDINADORES

PREÁMBULO.
ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE CAL EN ESPAÑA

RAFAEL FERNÁNDEZ ALLER
ANCADE

La industria española de la cal es sin duda una de las más avanzadas dentro del sector en Europa. Se ha modernizado altamente hace varios años y hoy afronta con holgura, los problemas de calidad y de medio ambiente que afectan directamente al mercado de los productos industriales, especialmente a los que como la cal, son muy versátiles en sus aplicaciones

Posteriormente se hace una referencia con datos a las producciones, ventas, tipología de productos, etc. En todo caso hay que advertir que en España se tiene un consumo aproximado de 45 kg cal/persona, mientras que en Alemania y otros países europeos, prácticamente se duplica.

Después de repasar la multitud de diferentes aplicaciones que presenta la cal, se hace especial mención a la estrategia que está siguiendo el sector europeo de la cal (EuLA) y el español (ANCADE) en relación con los morteros con cal considerando sus múltiples ventajas como son: ausencia de retracción, buena plasticidad y trabajabilidad, gran elasticidad, permeabilidad apreciable al vapor de agua, buena resistencia a la penetración del agua de lluvia, buen aislamiento térmico y acústico, ausencia de eflorescencias, y producto desinfectante y fungicida natural.

Finalmente, se desarrolla de forma somera, la problemática medio ambiental que afecta a la producción de cal, así como se exponen las medidas adecuadas para reducir la máximo las emisiones de gases de efecto invernadero.

1. DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR DE LA CAL

La fabricación de cales se caracteriza, como otros procesos industriales ligados a los recursos minerales, de dos grandes fases, totalmente diferenciadas:

- A) La actividad extractiva de la caliza o de la dolomía en cantera, incluyendo la trituración y el almacenamiento (no todas las fábricas de cal disponen de cantera propia, aunque sí buena parte de ellas):
 - Dificultades de acceso a yacimientos de buena calidad.
 - Escasez de reservas a medio largo plazo.
 - Yacimientos con alta pureza química.
 - Grandes limitaciones medioambientales y territoriales.
- B) El proceso industrial de fabricación de cales mediante la calcinación de la caliza debidamente triturada (o de la dolomía) en un horno.

Tipología del horno (Tabla 1).

- Características del combustible
- Proceso con un importante consumo de energía (más del 50% de los costes de producción).
- Proceso con una importante producción de CO₂ de proceso y de combustión (2^o Periodo 2008-2012: aplicación del PNA para emisiones de CO₂. 3^{er} Periodo 2013-2020: aplicación de reglas de asignación en base al benchmarking).
- Proceso con aplicación de criterios dentro del ámbito de fabricación de productos químicos (aplicación de las Directivas REACH, DEI, etc.).
- Ciclo de vida de la cal. Huella de carbono. Captura, transporte y almacenamiento del CO₂.
- Aplicación de las Conclusiones sobre las MTD para la cal.

2. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CALES EN ESPAÑA

Según los datos de que dispone ANCADE, la producción de cales en España correspondiente al pasado año 2011 ha supuesto una disminución 4,5% respecto al año 2010 pasando de 2,09 Mt a prácticamente 2,00 Mt (Tabla 2). En 2010 hubo un incremento del 9,9%, habiendo habido una reducción del 12,5 % en 2009 y otra del 4,7% en 2008. Respecto a la producción de 2007, la reducción del 2011 ha sido de un 12,7%.

La distribución de las ventas de cales vivas, hidratadas y de dolomías calcinadas en España en el 2011 según los datos disponibles, aportados por las empresas se presentan en la figura 1, y la distribución por productos en la figura 2.

El análisis de las estadísticas de ANCADE de 2011, indica que las empresas miembro de la Asociación representan el 89,2% de la producción total de cal del sector.

TABLA 1.
Tipo y número de hornos de cal en España

TIPOS DE HORNO DE PRODUCCIÓN DE CAL	EUR N°	EUR%	ESP N°	ESP %
Rotatorios (LRK)	25	4,6	1	2,0
Rotatorios con precalentador (PRK)	20	3,7	3	6,1
De flujo paralelo regenerativo (PFR)	149	27,4	34	69,4
Verticales anulares (ASK)	74	13,6	1	2,0
Verticales de alimentación mixta (MFSK)	115	21,1	1	2,0
Otros hornos (OK)	161	29,6	9	18,5
TOTAL	544	100,0	49	100,0

TABLA 2.
Distribución de la producción de productos calcinados en España

Origen Variación en Porcentaje	2007	2008	2009	2010	2011	2011/2010
	Miles t	Miles t	Miles t	Miles t	Miles t	Var. (%)
	-7,00%	-2,90%	-1,90%	-2,00%	-10,80%	-4,5%
Toneladas	2.284,70	2.176,60	1900,1	2088,9	1,994,7	

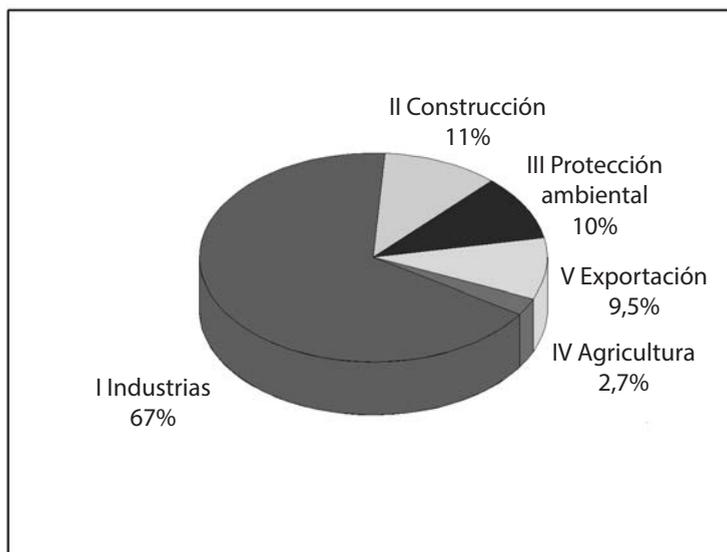


Figura 1. Mercados de la Cal (ANCADE 2011)

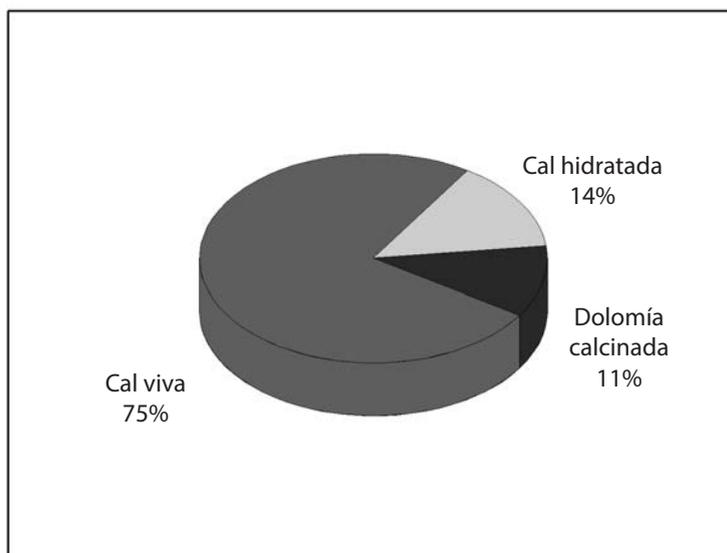


Figura 2. Distribución de Productos en las ventas (ANCADE 2011)

Finalmente en la figura 3, se expone la evolución de las ventas de ANCADE en el período 1999-2011.

El descenso en las ventas de cal por las empresas miembro de ANCADE en el 2011 respecto al 2010, se debe básicamente a una causa, fácil de entender: el descenso de la actividad económica en el año 2011.

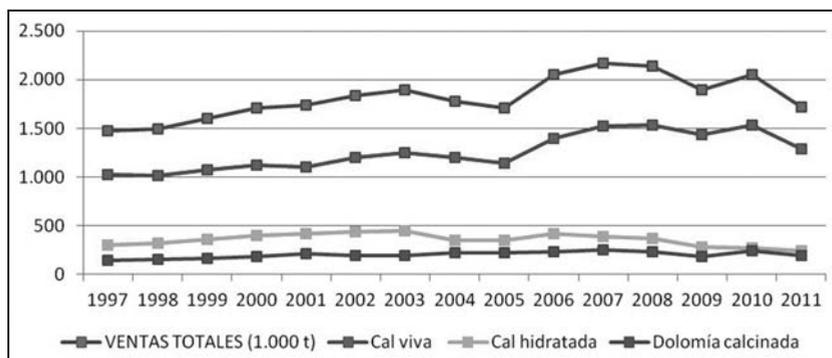


Figura 3. Evolución de las ventas de Cal en España (1997-2011)

3. LAS APLICACIONES DE LA CAL

La cal se caracteriza por su versatilidad, siendo el producto de mayor gama de aplicaciones, pudiendo establecer cuatro grandes grupos:

Industria:

En diversos tipos de industrias, principalmente en el la industria del hierro y el acero, y de manera importante en la industria metalúrgica, química, papel, azúcar, y también en farmacia, cosmética, alimentación, curtidos y vidrio.

Construcción:

En la construcción, principalmente como estabilizador de suelos en carreteras y otras infraestructuras y como material de construcción (morteros, etc.).

Medio Ambiente:

En el medio ambiente, en los tratamientos de potabilización del agua, de depuración de aguas residuales urbanas e industriales (orgánicas, aguas ácidas), de lodos, de desalación, de residuos, de gases y de suelos contaminados.

Agricultura:

En la agricultura, principalmente en el tratamiento de suelos agrícolas y como biocida.

SECTORES	SUBSECTORES
INDUSTRIAS VARIAS	industria sidero-metalúrgica industria de refractarios industria química industria petrolífera industria papelera industria del vidrio industria de curtidos industria cosmética
INDUSTRIA ALIMENTARIA	industria azucarera industria láctea piscicultura ostricultura tratamiento del maíz y trigo conservación de frutas y verduras fabricación de colas y gelatinas industria vinícola
CONSTRUCCIÓN	estabilización de suelos mezclas bituminosas para carreteras morteros y enlucidos hormigón celular pinturas
PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL	tratamiento de aguas residuales tratamiento de fangos de depuradoras potabilización de aguas desalinización de aguas tratamiento de gases tratamiento de residuos tratamiento de suelos contaminados
SECTOR AGRÍCOLA	enmiendas calizas biocidas tratamiento de purines residuos de gallineros caldo bordelés alimentación animal

4. ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS MORTEROS DE CAL (EULA)

4.1. Acciones básicas

- Aportaciones científicas e industriales para el mejor conocimiento de los morteros con cal (Mesas Redondas Ciencia-Industria).
- Reconocimiento de las funcionalidades de la cal en los morteros.
- Planteamiento en el TC 125 del CEN, de una más adecuada normalización para los morteros con cal.
- Edición de un análisis bibliográfico.
- Publicación de un folleto.
- Comunicación (folletos, conferencias, web, etc.).

4.2. Observaciones y convicciones

- Sobre la base de la prueba histórica y la experiencia pasada, la industria está convencida de que la cal tiene una influencia beneficiosa en la calidad del mortero, su comportamiento y su durabilidad.
- La industria considera que el conocimiento incompleto de las especificidades en el mortero de cal y de los ensayos de albañilería como principales orígenes de la disminución en el uso de cal en los morteros.
- Para aumentar la calidad del mortero y en consecuencia el uso de cal, se requiere un trabajo científico coordinado para adaptar convenientemente las normas de morteros.
- Considerar las múltiples ventajas que ofrecen los morteros con cal, como son: ausencia de retracción, buena plasticidad y trabajabilidad, gran elasticidad, permeabilidad apreciable al vapor de agua, buena resistencia a la penetración del agua de lluvia, buen aislamiento térmico y acústico, ausencia de eflorescencias, y producto desinfectante y fungicida natural.

4.3. Objetivos de las Mesas Redondas Ciencia-Industria

- Crear una red entre los investigadores relevantes en el campo de la albañilería, de los morteros y de la cal.
- Facilitar el intercambio de resultados de las investigaciones en relación con la cal en los morteros.
- Iniciar un debate sobre la investigación necesaria y los enfoques adecuados.
- Iniciar proyectos de investigación comunes sobre los temas más relevantes.
- Catalizar la comunicación sobre temas relacionados.

Objetivo final: Adaptar las normas y las mejores prácticas de construcción a fin de reconocer la buena calidad de los morteros con cal y su contribución a la calidad de la albañilería y a la durabilidad.

Se han celebrado hasta 2011:

- Dresden (Alemania): 8 de julio de 2010.
- Aarhus (Dinamarca): 16 de Mayo de 2011.

Otras posibles reuniones en:

- Lovaina (Bélgica).
- Bath (UK).

Los temas tratados y los documentos de posición elaborados por parte de expertos externos en la Mesa Redonda de Aarhus han sido los siguientes:

- Trabajabilidad.
- Adherencia.
- Modelos de fallo.
- Durabilidad.

4.4. Comunicación: Situación de la documentación 31/12/2011

- Bibliografía de cal en los morteros de 2010.
- Funcionalidades de cal en los morteros.
- Resumen ejecutivo de las funcionalidades de cal en los morteros.
- Documento sobre las lagunas científicas para el uso de la cal en los morteros.
- Documento de posición sobre la cal en los morteros (Publicado ILA 2010).
- Documento de posición reelaborado y publicado en la revista alemana de albañilería.
- Artículo (del GT de EuLA) aceptado en IBMAC (International Brick Masonry Conference–Brasil) 2012, titulado “Sustainable Masonry: The importance of Mortar Quality”.

En curso:

- FAQ está ultimando.
- Folleto.
- Folletos específicos para: albañiles, arquitectos, y propietarios.

4.5. Normalización: Trabajo de apoyo en el TC125/GT2 Morteros

- Revisión de la EN1015-11 : Preparación de las muestras para los ensayos de morteros.

- Problema: Almacenamiento de muestras para 7d a 95% HR-muestras de agua empapadas que evitan el desarrollo de la resistencia de las muestras de mortero que conduce a la subestimación sistemática de las funciones de los morteros a base de cal.
- Problemas con la EN1015-12 - Adherencia del mortero.
- Normas de morteros (Series EN998): cambio de las normas existentes de mortero, desarrollo de normas para los morteros de cal estándar, etc.
- Ensayos de durabilidad (resistencia al hielo/deshielo).

5. PROTECCIÓN AMBIENTAL

Los principales problemas medioambientales relacionados con la producción de cal son la emisión de CO₂ y el consumo de energía. Como se recoge en el Documento BREF CLM (Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries) que desarrolla las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) en el sector de la cal, en el que el proceso de calcinación es la principal fuente de emisiones atmosféricas, así como el más importante consumidor de energía. Otros procesos secundarios (apagado, trituración) también pueden contribuir sustancialmente en este último aspecto.

5.1. CO₂

El Sector de la Cal está afectado por la asignación de derechos de emisión (Kyoto) al ser generadora de CO₂, estas emisiones están incorporadas al Comercio de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por la Directiva 2003/87/CE. La mayor parte de las emisiones de CO₂ son irreducibles porque son originadas por el propio proceso (derivadas de la producción de cal ó dolomía calcinada), siendo solo potencialmente reducibles las emisiones de combustión (derivadas del consumo energético, combustibles).

En el caso de España, *el sector de la cal ha introducido ya hace bastantes años los procesos tecnológicos y las medidas de mejora en la eficiencia energética que mayor impacto pudieran tener en cuanto a la reducción de emisiones.* Tal como avala la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía, en su documento de Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) correspondiente al subsector de minerales no metálicos, *“la importancia de los costes energéticos ha llevado a las empresas caleras a optimizar sus procesos y equipos, mejorando progresivamente las plantas de fabricación (...). Los esfuerzos de reducción del consumo de combustibles en la fabricación de la cal se han centrado en la sustitución de hornos verticales antiguos por hornos de cuba regenerativos de alto rendimiento y en la diversificación energética, sustituyendo el carbón y coque de carbón por coque de petróleo y, en mayor medida, por gas natural”.*

5.2. Consumo de energía

En la producción de cal se tienen dos tipos de energía:

- Térmica (de los combustibles).
- Eléctrica.

Las mejores técnicas disponibles para reducir ó minimizar el consumo de energía térmica son:

- Aplicando sistemas de hornos mejorados y optimizados y un buen proceso del horno, operando cerca del parámetro de proceso aplicando: optimización del control de proceso, recuperación de calor de los gases de salida si se puede y sistemas gravimétricos modernos de alimentación de combustible sólido.
- Usando combustibles con características que tengan una influencia positiva sobre el consumo de energía térmica.
- Limitando el exceso de aire.

Otras emisiones que se producen en la producción de cal son las siguientes: polvo, óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO).

5.3. Polvo

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones de polvo suelen combinar las medidas primarias de carácter general con otras tendentes a la eliminación de partículas procedentes de fuentes puntuales. Entre ellas tenemos: El control y optimización del proceso, ciclones/separadores centrífugos, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, depuradores de proceso húmedo y reducción de emisiones de polvo difusas

Existen tres tipos de emisiones de polvo:

- Emisiones de polvo difusas.
- Emisiones de polvo procedentes operaciones polvorientas.
- Emisiones de polvo procedentes de los procesos de calcinación en el horno.

En primer caso, las mejores técnicas disponibles para minimizarlas o prevenirlas son:

- Medidas o técnicas para las operaciones polvorientas: encerrar/encapsular las operaciones polvorientas tales como la trituración ó molienda, cribado y mezcla, cintas transportadoras cubiertas y elevadores que se construyen como sistemas cerrados, almacenaje de silos con capacidad adecuada, manejo de material en sistemas cerrados, reducción

de la fuga de aire y puntos de derrame, mantenimiento apropiado y completo de la instalación, uso de dispositivos automáticos y sistemas de control, entre otras.

- Medidas o técnicas en el área de almacenaje y pilas: Cerrar los lugares de almacenaje con blindaje, muro, o con vegetación vertical (barreras al viento naturales o artificiales para proteger del viento pilas abiertas), con filtros textiles, humidificación de las pilas, dispositivos de pulverización, sistemas de aspiración, entre otras.

En el segundo, las mejores técnicas disponibles para reducirlas son los filtros de mangas o los depuradores de proceso húmedo.

Por último, para reducir las emisiones de polvo de los gases de salida de los procesos de calcinación de los hornos se utilizan limpieza del gas de salida con un filtro (filtros textiles, precipitadores electrostáticos u otros).

5.4. Óxidos de Nitrógeno

En cuanto a las emisiones de NO_x , se sabe que dependen tanto de la calidad de la cal como del diseño del horno. Para conseguir reducciones de dichas emisiones, se tienen las siguientes medidas ó técnicas: El control y optimización del proceso, selección de combustible apropiado con limitación de contenido de nitrógeno en el mismo y/o quemadores especiales.

5.5. Óxidos de Azufre

Las emisiones de SO_x procedentes principalmente de los hornos rotativos dependen de varios factores:

- Proporción de azufre en el combustible empleado.
- Diseño del horno.
- Contenido en azufre en la cal producida.

Por tanto, una reducción de SO_x obliga a utilizar combustibles con bajo contenido en azufre para usar en los hornos rotativos, principalmente, y/o utilizar las técnicas o medidas de optimización de proceso para asegurar una absorción eficiente del dióxido de azufre, es decir, contacto eficiente entre los gases del horno y la cal viva.

6. ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA CAL Y SUS DERIVADOS DE ESPAÑA (ANCADE)

Constituida en 1995.

Datos: 2011.

Empresas: 14 miembros activos (78% del total de empresas de producción de cal) y 4 miembros adheridos.

Empresas miembros activos:

- ANCASA (Andalucía).
- CALCASA (Madrid).
- Calera de Alzo (País Vasco).
- Caleras de Sancuao (Asturias).
- Cales de Llerca (Cataluña).
- Cales de Pachs (Cataluña).
- Cales Pascual (Valencia).
- Calestep (Andalucía).
- Calgov (Andalucía).
- Calinsa (Navarra, Cataluña).
- Caplansa (Valencia).
- Dolomitas del Norte (Cantabria).
- Segura (Andalucía).
- Tudela Veguin (Asturias).

Empresas Miembros Activos:

- Gordillo's Cales de Moron (Andalucía).
- Ibercal (Extremadura).
- Sodimate Iberica (Cataluña).
- Talleres Domenech (Valencia).

Comités:

- Comité de Medio Ambiente.
- Comité Técnico.
- Comité Laboral.
- Comité de Prevención de Riesgos Laborales.

ANCADE es miembro de importantes Asociaciones empresariales:

Internacionales:

- EuLA (European Lime Association).
- ILA (International Lime Association).

Nacionales:

- CEOE.
- COMINROC (Confederación de Industrias Extractivas de Minerales Industriales y Rocas).
- AIDICO.
- AEC (Asociación Española de la Carretera).