

# **ALTERNATIVAS DE XESTIÓN DOS PNEUMÁTICOS USADOS E A CONTAMINACIÓN DERIVADA DA SUA INCINERACIÓN EN CEMENTEIRAS**

**- O CASO DA FÁBRICA DE CEMENTOS COMOS EN OURAL (SÁRRIA)-**

## **CONTIDO**

0. Resumo
1. Introducción
2. Características e composición dos pneumáticos
3. Alternativas de xestión dos pneumáticos usados
4. Incineración e coincineración de residuos
5. Lexislación sobre emisións de incineradoras e co-incineradoras
6. O uso de pneumáticos como combustíbel
7. O proxecto de co-incineración de pneumáticos da empresa Cosmos
8. Bibliografía e documentación

Elaboración:

Manuel Soto Castiñeira

Profesor Titular de Enxeñería Química

Dpto. de Química Física e Enxeñería Química I.

Universidade da Coruña

A coruña, 01-07-2002

Informe encargado por:

Asociación para a Defensa Ecolóxica de Galiza (ADEGA)

<http://www.adegagaliza.org/>

## RESUMO E CONCLUSIÓNS

1. Galiza xenera unhas 16.000 t/ano de pneumáticos usados, dos que hoxe a súa grande maioría están depositados en vertedeiros ou en instalacións a espera dalgún tipo de tratamento. Os pneumáticos están constituídos nun 40-50% por caucho e elastómeros, negro de carbono, metal, textil, e unha longa lista de aditivos químicos, así como diferentes elementos como enxofre, cloro, zinc e chumbo. Presentan un elevado poder calorífico, pero moitos dos elementos presentes actúan como contaminantes no proceso de combustión. Por outra banda, o caucho e elastómeros constitúen un material elaborado de gran valor para diversos usos.
2. Entre as alternativas de tratamento dos pneumáticos están aquelas que empregan os pneumáticos enteiros, e aquelas que empregan pneumáticos troceados ou pó de pneumático. Asímismo, o recuchutado é unha opción que nalgúns países permite a redución de até o 20% das cantidades xeradas, porcentaxe que podería ser incrementada mediante unha promoción e regulación adecuada. As restantes opcións de tratamento poden-se dividir en dúas categorías: aquelas que teñen por finalidade a reutilización ou reciclaxe para diferentes usos do caucho dos pneumáticos, por unha banda, e aquelas outras que buscan o aproveitamento enerxético mediante a combustión dos pneumáticos ou dos produtos que se oteñen destes.
3. Mentres o vertido dos pneumáticos se considera non axeitado, a reciclaxe está a umentar fortemente nos últimos anos na UE, tendo-se multiplicado por máis de catro as porcentaxes de pneumáticos destinadas á reciclaxe. O uso enerxético dos pneumáticos tamén aumentou algo, pero a unha velocidade inferior que a reciclaxe, ao atopar-se con problemas relacionados coas emisións contaminantes á atmosfera.
4. Hoxe existen numerosos proxectos de incineración e co-incineración de pneumáticos, entre eles a utilización dos pneumáticos como combustíbel secundario en fornos de fabricación de cemento. En concreto, nos últimos anos coñecerón-se até 24 proxectos de co-incineración de diferentes residuos en cimenteiras do Estado español, contando a maioría deles cunha forte oposición veciñal, de tal forma que moitos xa foron descartados. Así, a pesar do interese deste e doutros sectores industriais como as fábricas de celulosa por empregar pneumáticos como combustíbel, esta opción está a crecer pouco no conxunto da UE.
5. En relación coa emisión de contaminantes fortemente tóxicos a atmosfera atopamos unha diversidade de opinións entre os técnicos, ao tratar-se dun problema complexo e que afecta a moitos intereses. Sen embargo, moitos estudos técnicos, incluídos algúns oficiais, mostran un incremento da contaminación durante a co-incineración de pneumáticos, que se ven a suamar ás emisións dunha industria xa considerada como actividade insalubre e nociva. Por outra banda, as novas normativas europeas (Directiva 96/61/CE sobre a Prevención e control integrado da Contaminación, Directiva 2000/76/CE sobre o funcionamento e as emisións da incineración e co-incineración de residuos, Estratexia

comunitaria sobre dioxinas e furanos, Convenio de Estocolmo sobre a erradicación dos contaminantes orgánicos persistentes, etc) indican que o nivel de emisións actual é fortemente daniño para a saúde e o medio ambiente e establecen condicións de operación e límites de emisión moito máis estritos. Estas normativas da UE consideran xustificada a preocupación cidadá polas consecuencias das emisións de incineradoras e de determinados sectores industriais.

6. Os datos dispoñíbeis sobre as emisións contaminantes por parte da fábrica de COSMOS en Oural son moi escasos, referindo-se só a dous ou tres parámetros de entre os moitos que as novas normativas exixen determinar. Sen embargo, abundan estes datos para poder concluir que, incluso sen combustión de pneumáticos, a cementeira COSMOS deberá proceder nos próximos anos a unha redución das súas emisións contaminantes, co obxectivo de cumprir a nova normativa europea. A este respecto temos unha primeira pregunta: dificultará a combustión de pneumáticos o cumprimento dos novos obxectivos ambientais?. Xa dixemos máis arriba, e no informe mostran-se os datos concretos, que en moitos casos, as emisións durante a co-incineración ven-se incrementadas.
7. Só se dispón dunha medida de emisión de dioxinas, que permite estimar unha emisión anual mínima de 0,018 g ET (equivalentes tóxicos) de dioxinas e furanos. Por máis que semelle unha emisión reducida, a consideración das doses máximas de ingestión fixadas na Estratexia comunitaria sobre dioxinas e furanos (2 millónésimas de millonésima de gramo ET por kg de peso corporal e día), permite-nos ver que o seu potencial tóxico é moi elevado.
8. Segundo se expón no capítulo 7 deste informe, o estudo de efectos ambientais presentado pola empresa é moi deficiente en canto a información técnica que aporta, obviando calquera consideración sobre as emisións contaminantes. Non contempla por iso ningún tipo de medida correctora para reducir estas emisións. Todo isto é indicativo dunha escasa preocupación polas consecuencias ambientais da combustión de pneumáticos por parte dos técnicos redactores do proxecto e do estudo de efectos ambientais. As alternativas de alimentación dos pneumáticos ao forno, os tempos de residencia dos gases e as temperaturas a que se ven sometidos, o feito de que se xeneran hidrocarburos poliaromáticos durante a pirólise e combustión do caucho, a posibilidade da presenza de plástico e outros residuos clorados entre os pneumáticos, e a necesidade de mellorar os sistemas de depuración de fumes, deberían ser aspectos tidos en conta no proxecto orixinal.
9. Cando o caucho se somete a altas temperaturas, antes de iniciar-se a súa combustión sofre un proceso de craqueo, no que forman grandes cantidades de moléculas cíclicas e policíclicas. Algunhas das substancias cíclicas son tóxicas e outras son cancerixenas, tendo a maioría estruturas moi similares a coñecidos compostos cancerixenos. Tamén son precursoras de dioxinas e furanos. En presenza de oxíxeno, como ocorre nas cementeiras, aumenta o número e a variedade de compostos, tendo-se identificado máis de 250 substancias diferentes.

10. Segundo se explica en detalle no capítulo 6 deste informe, existen catro alternativas de alimentación de pneumáticos a un forno de cemento, sendo a elixida por COSMOS, como consecuencia de que se trata dun forno moi curto, a alimentación directamente ao intercambiador. Esta opción é a que presenta maiores riscos de que as substancias desprendidas durante a combustión dos pneumáticos persistan nos gases de saída e poidan orixinar outros contaminantes como as dioxinas.

11. Os datos de emisións de partículas e dióxido de enxofre mostran que se cumpren sen problemas os límites da normativa española do ano 1975. Esta normativa debería considerar obsoleta, sen embargo segue sendo a que ten en consideración tanto o proxecto como a autorización dada pola Consellería. Pero, como xa se indicou, a fábrica de COSMOS debería introducir novas medidas de depuración dos fumes para cumprir a nova normativa europea, e analizar e cumprir límites para outras moitas substancias, segundo se reflicte no seguinte cadro.

Límites de emisión previstos na directiva e no Proxecto de Cosmos

Parámetros	DIRECTIVA 2000/76/CE	PROXECTO COSMOS*
Partículas (mg/m <sup>3</sup> N)	30	150
HCl (mg/m <sup>3</sup> N)	10	Descoñecido
HF (mg/m <sup>3</sup> N)	1	Descoñecido
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> N)	50	2400
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> N)		
-Instalacións novas	500	Descoñecido
-Instalacións existentes	800	
Substancias orgánicas como gas ou vapor (mgCOT/m <sup>3</sup> N)	10	Descoñecido
Mercúrio (µg/m <sup>3</sup> N)	50	Descoñecido
Cádmio + Talio (µg/m <sup>3</sup> N)	50	Descoñecido
Metais e compostos dos seguintes metais: Antimonio, Arsénico, Plomo, Cromo, Cobalto, Cobre, Manganeso, Niquel e Vanadio (µg/m <sup>3</sup> N)	500	Descoñecido
Dioxinas e furanos <sup>d</sup> (ngEqT/m <sup>3</sup> N)	0.1	Descoñecido
<u>A establecer opcionalmente polos Estados membros:</u>		
- Hidrocarburos poliaromáticos e outros contaminantes	Sen fixar	Descoñecido
- CO	Sen fixar	Descoñecido
- Outros		Descoñecidos

\* O proxecto só prevé medida de partículas e SO<sub>2</sub>

12. A Directiva 2000/76/CE exige toda unha serie de condicións de operación, medidas de seguridade e análises de contaminantes que en xeral o proxecto non ten en conta. No seguinte cadro comparamos as previsións da empresa COSMOS cos obxectivos e obrigas fixados na nova directiva.

**Comparación entre as previsións de controle da  
Directiva 2000/76/CE e as consideradas no proxecto da empresa Cosmos**

Previsións da Directiva 2000/76/CE	PROXECTO COSMOS	
	Previsión	Cumprimento
COT en cinzas e escorias < 3% ou Materia volátil por combustión < 5%	NON	-
O tempo de residencia dos gases > 2 segundos a T > 850°	SI	Cumprimento duvidoso
Non combustión de residuos haloxenados	SI	Sen controle
Existencia dun dispositivo automático que impida a alimentación de residuos no caso de funcionamento anómalo	NON	-
Construcción e operación tal que impida emisións a atmosfera que provoquen unha contaminación atmosférica significativa a nivel do solo	NON	Non hai estudos de difusión
A altura da cheminea calculará-se de forma que fiquen protexidas a saúde humana e o medioambiente.	NON	Non hai estudos de difusión
Medida en contínuo da temperatura no forno	?	Non se di nada
Medida en contínuo de O <sub>2</sub> , P, T e vapor de auga nos gases.	?	Non se di nada
O tempo de permanencia, temperatura mínima e contido en O <sub>2</sub> dos gases verificará-se polo menos unha vez nas condicións de operación mais desfavorábeis.	NON	-
A autorización determinará o período máximo de funcionamento anómalo	NON	Lei 1975
O tempo de funcionamento anómalo en ningún caso será superior a 4 horas ininterrompidas	NON	Obxectivo: <48 h
Non se superarán 60 h por ano de de funcionamento anómalo	NON	Obxectivo: <200 h
En ningún caso se poderán superar os 150 mg/m <sup>3</sup> de partículas, en valores semi-horarios	NON	Obxectivo: 1000 mg durante 48 h seguidas
En ningún caso se superarán os límites para monóxido de carbono (CO) e o carbono orgánico total (COT).	NON	-
Parámetros de medición contínua: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partículas,</li> <li>• HCl,</li> <li>• HF,</li> <li>• CO,</li> <li>• SO<sub>2</sub>,</li> <li>• NO<sub>x</sub>,</li> <li>• Substancias orgánicas como gas ou vapor</li> </ul>	SI NON NON NON SI NON NON	
Parámetros de medición mínima semestral (trimestral o primeiro ano): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metais pesados (Mercurio, Cadmio, Talio, Antimonio, Arsénico, Plomo, Cromo, Cobalto, Cobre, Manganeso, Niquel e Vanádio),</li> <li>• Dioxinas e furanos</li> </ul>	NON NON	

## 1. INTRODUCCIÓN

Os pneumáticos usados (código europeo de residuos CER 160103) constituen unha pequena porcentaxe dos residuos sólidos urbanos (1,2% en USA, 1,4% no Estado español, 1.8 en Galiza). Sen embargo, cada vez é máis frecuente a existencia de elevadas cantidades de pneumáticos acumulados esperando por algún tipo de tratamento ou simplemente abandonados en vertedoiros ou mesmo no medio natural. Isto debe-se a que presentan unha xestión difícil dentro dos tratamentos convencionais de incineración e vertido, sexa pola súa forma, ou pola composición e outras características. A comezos dos noventa, arredor do 34% dos pneumáticos usados eran reutilizados, reciclados, recuperados ou valorizados (incluída a combustión) en USA, cifra que na UE subía ao 38% e no Estado español, hoxe en día, é do 17%.

<b>Estimación da xeración de pneumáticos fora de uso (finais da década dos noventa)</b>				
Pneumáticos	Galiza	Estado español	Unión europea	USA
Nº/ano	2.500.000	38.000.000	385.000.000	275.000.000
t/ano	16.000	250.000	2.500.000	2.800.000
Nº/habitante	0.9	1.0	1.0	1.2

A política ambiental europea ten como obxectivo prioritario a prevención da xeración de residuos e do esgotamento dos recursos, propondo-se a reconversión, na medida do posíbel, dos actuais procesos lineais de produción e consumo (matérias primas, fabricación, consumo, eliminación de residuos) en procesos cíclicos nos que os diferentes materiais contidos nos produtos ao final da súa vida útil sexan reutilizados ou reciclados para a fabricación de novos produtos. Conforme a isto, o destino dos pneumáticos usados debe ser, prioritariamente, o seu recauchutado (reutilización) ou o seu aproveitamento para novos produtos (recicla-se o caucho). Así, desde 1990, a reciclaxe material do caucho na UE multiplicou-se por un factor de máis de catro. Dentro desta política, a valorización enerxética só é recomendábel para aqueles residuos que non son aproveitábeis a nivel dos materiais. Ao tratar-se dun material de orixe fósil, a combustión do caucho non contribúe ao peche de ciclos da enerxía nen, lóxicamente, de materias primas.

A recuperación do caucho para diferentes aplicacións ven desde o século XIX. Sen embargo, a recuperación de caucho usado viu-se ralentizada en primeiro lugar pola substitución do caucho natural polo sintético (a mediados do século XX), despois pola invención e uso dos plásticos, e por último pola caída dos prezos do petróleo despois dos anos setenta do século XX. Posteriormente, durante a década de 1990, a recuperación de caucho expandiríase de novo como consecuencia de diferentes avances tecnolóxicos na súa reutilización, das limitacións ao seu vertido e das taxas aplicadas na venda coa finalidade de sufragar os custos de acondicionamento (xeralmente de 0.5-1,5 euros por pneumático novo) e promoción de mercados alternativos para a reciclaxe.

En Galiza, a Conselleira de Industria estimou en 1995 unha xeración anual de 25.000 t de pneumáticos usados, dos que unhas 15.000 t se converten en residuos, cifra que para o ano 2000 se elevou a 16.300 t, xa segundo a Consellería de Medio Ambiente.

## 1. CARACTERÍSTICAS E COMPOSICIÓN DOS PNEUMÁTICOS

En termo promedio para a Unión europea, podemos considerar que o peso dun pneumático é duns 6.5 kg, se ben os aotomóbeis grandes empregan pneumáticos mais pesados (en USA un pneumático de automóbil pesa cerca dos 10 kg en promedio). Por outra banda, os pneumáticos de camión e de uso industrial poden superar os 100 kg, constituindo en número unha cuarta parte do total xerado. No referido ao tipo, cada vez empregan-se mais os pneumáticos radiais con cintura de aceiro, en substitución dos diagonais.

Os constituintes principais dos pneumáticos son os polímeros, o negro de carbono, e os aditivos abrandadores (aceites de hidrocarburos aromáticos, principalmente). Na UE a composición é a seguinte:

Componente	Turismos	Veículos pesados
Caucho e elastómeros	48	43
Negro de carbono	22	21
Metal	15	27
Textil	5	0
Aditivos e outros	10	9
Total	100	100

En xeral, os pneumáticos presentan unha mui baixa humidade (1%) e un elevado contido en materia volátil (65%), mentres que o carbono fixo contribue cun 28%. Se atendemos á composición elemental, podemos considerar os seguintes valores:

Elemento → Fonte ↓	C	H	O	S	Cl	Fe	Zn	Pb ppm	N	Cinzas
Lund, 1996 (%)	83	7	2.5	1.2	-				0.3	6
Bao, 2001 (%)				1.92	0.15					
Merle, 1999 (coche) (%)	75	8		1.2		15	0.8	100		
Idem (camión) (%)	70	7		1.3		20	1.7			

Nos pneumáticos de turismo boa parte da estrutura metálica ten sido substituída por fibras artificiais e sintéticas, mantendo-se o aceiro fundamentalmente nos aros de reforzo dos talóns. Os filamentos textis incorporan catalizadores tais como óxidos de metais pesados (óxido de zinc). Con bastante probabilidade, na composición poderíamos atopar maiores contidos en zinc e en enxofre e menor contido en ferro dos indicados na táboa anterior.

Podemos considerar en xeral que mais dun 90% do contido dun pneumático é material orgánico, polo que as cinzas da súa combustión supoñen menos do 10%; o poder calorífico situa-se arredor de 7.800 kcal /kg (32.600 kJ/kg ou 14000 BTU/lb), maior que o dalgúns tipos de carbón (4.500-6.700 kcal /kg). A densidade media dos pneumáticos troceados situa-se arredor de 0.55 t/m<sup>3</sup>.

### Valor calorífico de diferentes materiais

Material	Madeira	RSU	Lignito	Carbón sub-bituminoso	Carbón bituminoso	Pneumático troceado	Pneu. Troceado libre de aceiro
Relativo (Lund, 1996)	42.7	51.8	71.1	102.3	124.2	138.4	151.0
PC, kJ/kg (Lund, 1996)						7.800	8.300
PC, kcal/kg, coche (Merle, 1999)						6.500	
PC, kcal/kg, camión (Merle, 1999)						6.000	
Xunta (1995)						8.000	

## 2. ALTERNATIVAS DE XESTIÓN DOS PNEUMÁTICOS USADOS

Entre as medidas de prevención que contribuen á redución da xeración de pneumáticos usados están aquelas que aumentan a vida útil do pneumático, estimando-se que melloras no uso do pneumático e na condución de vehículos permitirán reducir a cantidade xerada nun 5%. Por outra banda, a cantidade de pneumáticos xerados e o peso en masa dos residuos está intimamente relacionado co modelo de transporte maioritario. A redución do uso do coche particular en favor dos transportes colectivos poderían sen lugar a dúvidas reducir drásticamente a cantidade de residuos de pneumáticos usados. Mesmamente, a promoción dos coches pequenos fronte aos de grande tamaño tamén contribuiría a esta redución. A modo de exemplo, abonda considerar o feito de que o peso medio dun pneumático de turismo en USA sitúa-se arredor dos 9.5 kg, mentres que na UE é de 7 kg, é dicer, un 26% inferior.

Segundo indicamos anteriormente, en USA a comezos dos noventa recuperaba-se o 34,5% dos pneumáticos xerados anualmente, e no Estado español, a finais dos anos noventa, un 17%. A esta recuperación contribuen diversas opcións, segundo se indica na seguinte táboa.

Destino dos pneumáticos usados en diferentes países						
Destino/Ano	USA 1990	USA 1998 <sup>a</sup>	Xapón 1997 <sup>a</sup>	UE 1992	UE 1998	Estado español 1999
Vertido <sup>b</sup>	65.5	10	9	62	40	82.8
Incineración	9.4	63.6	51	14	20	4.6
Reciclaxe	6.2	22.3	40	5	18	1.5
Recauchutado (reutilización)	13.7	-	-	13	11	11.1
Exportación e outros	5.2	-	-	6	11	0
Total (%)	100	-	-	100	100	100
Total (miles t/ano)	2.800	2.800	1008	2054	2523	239

<sup>a</sup>Sen contar recauchutado e exportación.

<sup>b</sup>Inclue a deposición en vertedeiros e a acumulación en moreas de pneumáticos enteiros ou troceados

En USA, a recuperación material, reutilización e reciclaxe a comezos dos noventa atinxia a un 25.1% dos pneumáticos usados, segundo a seguinte distribución por destinos:

- Recauchutado (13.7)
- Reciclaxe para novas rodas (1.0)
- Fabricación de diversos produtos (4.3)
- Aplicación no asfalto (0.9)
- Exportación (4.3)
- Outros (0.9)

e a finais dos noventa tiñan-se incrementando todas as formas de xestión agás a pirólise. A incineración, que entre 1996 e 1998 descendería desde o 75.4% dos pneumáticos valorizados até o 70.7%, realiza-se fundamentalmente en fornos cementeiros, indústrias papeleiras e centrais térmicas convencionais. Pola contra, neste mesmo periodo de anos aumentou a reciclaxe material dos pneumáticos, do 24.6% ao 29.7% do total valorizado.

En Europa, entre as opcións de xestión aumentou en maior medida a reciclaxe material dos pneumáticos, que entre 1992 e 1998 pasou do 5 ao 18%, alternativa que no Estado español vai



muito por detrás, con porcentaxes do 0.4% en 1998 e 1.5% en 1999. No ano 1999 recicláronse 464875 t de pneumáticos usados na UE, cuxos destinos foron os seguintes:

- Superficies deportivas e pavimentos de seguridade (39%)
- Produtos de consumo (21%)
- Construcción (19%)
- Asfalto modificado con caucho (7%)
- Aplicacións ferroviarias (5%)
- Outros usos (9%)

En outubro de 2001 aprobou-se o *Plan estatal de Pneumáticos fora de uso*, (BOE 30-10-2001), no que se fixan diferentes obxectivos, entre eles e de forma resumida: a) incremento da vida útil nun 5% (ano 2006), b) recuperación e valorización do 100% antes de 2003, c) recauchutado dun mínimo do 20% antes de 2007, d) reciclado dun mínimo do 25% antes de 2007. Supoñendo que se cumpran estes obxectivos de recauchutado e reciclado, e que en total atinxiran a un 50% dos pneumáticos, o restante 50%, unhas 150.000 t/ano debería ser valorizado mediante incineración ou outros procesos térmicos.

Sen embargo, no propio plan se fai a seguinte afirmación: “se ben a nova directiva 2000/76/CE de incineración admite a co-incineración en plantas enerxéticas e de produción, tamén lles impón os mesmos niveis de emisión de gases contaminantes que ás plantas incineradoras; esta exixencia podería significar a imposibilidade técnica de valorizar enerxéticamente os pneumáticos usados nas cimenteiras que utilicen fornos rotatórios de vía húmida, que é nos que actualmente se realiza”.

Ademais das indicadas anteriormente, outras opcións de xestión son as seguintes:

- **Pneumáticos enteiros:**
  - Uso agrícola
  - Arrecifes e rompeolas artificiais
  - Barreiras parachoques
  - Limitación da erosión do solo
- **Pneumáticos troceados:**
  - Uso en enxeñaría civil
  - Caucho cortado ou estampado (pneumáticos diagonais)
  - Tratamentos térmicos diversos

O Plan de Resíduos Industriais da Xunta de Galicia, de 1995, establecía a seguinte relación de operacións e custos para xestión dos pneumáticos por valorización enerxética (incineración ou co-incineración):

Actividade	Ptas/kg
Xestión do servizo de recollida	3
Transporte ao centro de transferencia	5
Xestión do centro de transferencia	3
Transporte ao centro de tratamento	5
Tratamento e acondicionamento previo do produto	5
Transporte do produto ao centro de valorización	1,5
Valorización	2,5

A continuación analizaremos en maior detalle algunhas das opcións de xestión.

### **Depósito en vertedeiro**

Os pneumáticos son pouco adecuados para depositar en vertedeiro, xa que non se poden compactar e persisten como tais indefinidamente. No vertedeiro os pneumáticos tenden a flotar, sexa en relación con outros residuos ou coa auga e o solo, e ademais atrapan ar e auga nas cavidades e absorben calor, xerando focos infecciosos. Constituen un forte risco de incéndio.

O almacenamento ao ar libre tamén presenta a maioría destes inconvenientes. Cando este almacenamento é necesario, algunhas medidas axudan a prevenir os efectos negativos e o risco de incéndios, entre elas temos as seguintes: trituración, colocación en celdas de 30x30x15 m (ancho x longo x alto), 15 m de separación entre celdas e 20 m de edificios e do valado que sempre debe existir para illar completamente a zona de acumulación. Moitos Estados americanos desenvolveron normativas específicas coa finalidade de prevenir os incéndios nas moreas de pneumáticos almacenados. Hoxe no Estado español contabilízanse entre 3 e 5 millóns de toneladas de pneumáticos acumulados, mentres que na Galiza esta cifra pode situar-se entre as 100.000 e as 200.000 t. A maioría dos almacenamentos existentes na Galiza non cumpren practicamente ningún destes requisitos de seguridade.

A trituración ten por obxectivo reducir o tamaño das pezas a manexar, que xeralmente serán de entre 5x20 e 5x5 cm, facilitando o manexo e reducindo o volume até un 75% do correspondente aos pneumáticos sen trocear. En USA os custos de trituración sitúan-se entre 50-100 \$/t e o custo de deposición en vertedeiros municipais entre os 0.3-0.6 \$/pneumático, pero que poden chegar a 3\$/roda nos vertedeiros privados.

### **Incineración**

Nunha incineradora de residuos, os pneumáticos poden causar puntos quentes, xa que presentan un poder calorífico maior que o de calquera outro combustíbel. Isto pode ocorrer incluso no caso de plantas que empregan carbón como combustíbel principal.

Por outra banda, os pneumáticos conteñen enxofre, zinc e outros metais pesados (Cd, Pb), ocasionando emisións atmosféricas contaminantes. Cando o tempo de combustión é insuficiente, emíten-se grandes cantidades de produtos non queimados, dando-lle ás emisións cor negra intensa. Este fume negro contén importantes cantidades de hidrocarburos sen queimar, e forma-se na combustión a temperaturas de menos de 1092 °C.

O caucho triturado ten-se empregado como combustíbel en caldeiras de calefacción, nas que pode substituír o combustíbel principal nunha proporción de até o 40%, ou en indústrias cimenteiras e celulosas, onde a proporción se limita ao 2-20%. Pero, pola presenza de diversos elementos, é necesario que a instalación que use pneumáticos teña unha tecnoloxía adecuada para controlar as emisións atmosféricas e manexar os residuos post-combustión.

En USA, sete fornos cimenteiros estaban queimando pneumáticos a finais dos anos oitenta, cunha capacidade de 0.5-3 millóns de pneumáticos anuais cada un. Para 1995 preveíase que uns 40 fornos, dun total de 240, cambiaran a configuración das instalacións para poder queimar pneumáticos (Lund, 1996), sen embargo en 1996 só 27 cimenteiras implantaran estes sistemas, e outras 25 aínda o estaban ensaiando (Paul, 2000). As cimenteiras teñen que

solicitar novos permisos de emisións atmosféricas e en moitos casos introducir modificacións custosas no sistema de alimentación.

Outro tratamento térmico dos pneumáticos consiste na pirólise, que ten lugar a unha temperatura de entre 259 e 590 °C e pode ser oxidante ou reductora. Na primeira modalidade, inxecta-se algo de ar, polo que ten lugar unha combustión parcial, mentres que na segunda se inxecta hidróxeno, formando-se adicionalmente sulfuro de hidróxeno. A pirólise dá lugar a tres fraccións, unha gaseosa, un aceite líquido e un sólido ou coque inferior. A cantidade de gas aumenta coa temperatura, descendo a de líquido, ao tempo que o gas dos procesos reductores, os máis empregados, son máis enerxéticos que o dos procesos oxidantes, podendo duplicar o poder calorífico do gas natural. Na composición do gas inclúen-se parafinas e olefinas. A cantidade de aceite que se obtén pode variar entre 310 e 757 l/t e a de coque entre 227 e 363 kg/t, obtendo-se ademais de 17 a 172 kg/t de aceiro.

Sen embargo, aínda que se construíron numerosas unidades experimentais de pirólise, moi poucas chegaron a funcionar a nivel comercial, existindo en Estados Unidos só dúas. Paul (2000) describe o proceso de pirólise Tosco II, aplicado nunha planta piloto con capacidade para 13.5 t/d; os produtos previstos eran 0.5-0.6 m<sup>3</sup> de aceite, 1270-1540 de pó de pirólise, 190-220 kg de aceiro e 154-176 kg de fibra de vidro, estes últimos separados previamente. O gas contén etileno, propileno e butileno, e o aceite un 1% de enxofre, podendo-se empregar directamente como fuel óleo.

### **Trituración**

Denomínase caucho triturado ao caucho troceado por medios mecánicos, que poden operar tanto a temperatura ambiente como en condicións crioxénicas (inferiores a -150 °C), con nitróxeno líquido.

O nitróxeno líquido reduce a temperatura por debaixo da chamada temperatura de transición do vidro, provocando que o caucho se volva quebradizo, facilitando a súa desintegración mecánica en moíños posteriores. Con este último método conseguen-se partículas de menor tamaño, inferior a 1 cm, de xeometría case cúbica e de superficie exterior máis fina. Se ben en xeral se buscan tamaños de partícula o máis reducidos, as superficies moi finas presentan peores propiedades de combinación cos materiais nos que se van usar, xa que a adhesión do caucho cos restantes materiais debe-se a enlaces físicos, os cales melloran coa rugosidade. Así, o caucho crioxénico ha de tratar-se con modificadores de superficie para adecualo a determinados usos.

A trituración mecánica en moíños tamén permite chegar ao tamaño de partícula desexado, recirculando as partículas de excesivo tamaño varias veces, pero o seu inconveniente radica no elevado consumo de enerxía. Por medios mecánicos de tipo magnético ou de gravidade tamén se pode separar o aceiro e a tela do caucho.

### **Reciclaxe do caucho de pneumáticos**

Os pneumáticos son fundamentalmente caucho vulcanizado. O proceso de vulcanización consiste en tratar o caucho con enxofre para fortalece-lo e aumentar a súa vida útil. Hoxe non existe unha tecnoloxía que permita unha verdadeira desvulcanización (rotura dos enlaces formados polo enxofre), é dicir, non se pode obter o caucho propiamente, senon un produto intermedio entre o caucho e o caucho vulcanizado.

O caucho de pneumáticos pode-se triturar, pulverizar e trata-lo con produtos químicos ablandadores e plastificadores. Antes da segunda guerra mundial practicamente todo o caucho éra de orixen natural, e ao trata-lo con plastificadores conseguia-se recuperar un produto brando e consistente, adecuado para moitos usos. O caucho sintético é mais duro e a rotura de enlaces é irregular e incompleta. Para obter resultados aceptábeis deben usar-se axentes químicos mais fortes, tais como sulfuros de alquifenol, aminas aromáticas, mercaptanos clorados, e o proceso ha de realizar-se a presións e temperaturas elevadas.

Con este procesamento, o caucho usado é útil para algunhas aplicacións: tintas de fotocopiadoras e impresoras; caucho laminado, butilo, etc, con aplicacións en novas rodas, mangueiras, cintos e produtos de molde. Por esta razón, a incorporación de caucho recuperado na fabricación de pneumáticos novos está limitada a só un 1% aproximadamente. Sen embargo, as investigacións continúan e non se descarta que no futuro o caucho triturado e finamente pulverizado se poda incorporar tanto a pneumáticos usados como a outros produtos.

En función do pretratamento recibido, o caucho dos pneumáticos pode empregarse como substituinte do caucho natural utilizado na fabricación de numerosos produtos: sandalias, alfombras, moquetas, xuntas..., como aditivo en pistas de atletismo ou no asfaltado de estradas, leitos en cruces de ferrocarril, bordes de aparcamentos e beirarruas, carris para bicicleta, muros ou pantallas contra o ruído, etc. Algunhas fraccións de caucho despolimerizado presentan un poder calorífico moi elevado (9.600 kcal/kg), polo que se poden empregar como complemento de combustíbel, mesturado con fuel óleo.

A partir dos pneumáticos obteñen-se tiras de caucho reforzado con tela, que se funden a presión para formar diversos produtos, como amortiguadores en diques, felpudos, cintas transportadoras, pezas moldeadas, por exemplo na fabricación de vehículos, etc. Trata-se dun uso de alto valor, xa que se necesita escaso procesamento e substitúen-se materias primas virxes moi caras.

Na construción de cruces de ferrocarril, os leitos poden levar 520 kg de raspadura por metro de vía, aumentando a vida útil desde os 4 anos dos cruces con asfalto até os 15 anos. Tamén nas vías férreas se poden introducir colchóns de caucho entre o formigón e a grava, coa finalidade de suprimir as vibracións e os rúidos. En Xapón, o acondicionamento de 131 km de vía requerió 70.000 t de caucho triturado.

Os pneumáticos troceados teñen-se empregado para construír os últimos 30 cm dunha capa protectora de solo de 60 cm, aforrando o material que se ía empregar e reducindo os custos. Fixéron-se estudos sobre a lixiviación de contaminantes polo paso da auga a través do caucho reutilizado, concluíndo que non existía risco de ningún tipo (Lund, 1996).

### **Uso en pavimentos asfálticos**

O uso en pavimentos asfálticos é hoxe por hoxe a principal opción de aproveitamento material do caucho usado. O caucho procedente dos pneumáticos pode empregar-se en dúas formas: como cemento asfáltico, ou como aglomerado (formigón) asfáltico.

Por unha banda temos o chamado caucho asfáltico ou cemento asfáltico modificado con caucho, que se obtén por adición dun 15-25% de caucho moido sobre asfalto fundido a uns

204 °C (175-220°C). Os pneumáticos deben-se moer finamente e retirar os metais e telas. O caucho asfáltico emprega-se como material de selado de pavimentos, como ligante para reparación de baches e roturas, aplicado como unha capa relativamente fina sobre un pavimento degradado ou entre dúas capas de pavimento coa finalidade de absorber tensións, como ligante para drenaxes superficiais, ou mesmo como revestimentos en lagos e lagoas. Nalgúns destes usos o material prepara-se no momento de ser aplicado. Ademais destes usos na forma de tela asfáltica, o cemento asfáltico tamén se pode empregar para fabricar aglomerado asfáltico.

Por outra banda, existe o aglomerado ou formigón asfáltico modificado con caucho, fabricado ben con trozos de pneumático, triturados ou moidos (2 mm), ou ben con mestura de trozos (5 mm) e pó de pneumático. O caucho usado, libres de aceiro e teas, substitúe parte do árido empregado na mestura do asfalto convencional, e que se aplica da mesma forma que este, aínda que presenta algunhas características particulares. O produto obtido presenta maior flexibilidade e durabilidade que o asfalto convencional e unha vida útil que duplica a deste último. Pola contra, o custo de fabricación resulta un 40%-100% superior.

As estradas modificadas con caucho como ingrediente do asfalto presentan diferentes melloras, entre elas:

- menor ruído de rodaxe
- maior resistencia á formación de xeo
- menor tempo de frenada en estradas xeadas
- menor formación de fendas
- pavimento totalmente resistente

Só o uso de pavimento asfáltico no 1% das estradas de dous carrís (USA) podería consumir arredor do 23% da totalidade dos pneumáticos xerados anualmente. O consumo para unha capa seladora de caucho asfáltico cifra-se en 200-1.000 pneumáticos (de 2 a 9 t) por km de estrada de dous carrís, mentres que o asfaltado dunha estrada de dous carrís con formigón asfáltico modificado, nunha capa de 7.5 cm, requeriría entre 5000 e 7500 pneumáticos (de 40 a 70 t) por km (Lund, 1996).

O aceiro e a tela, que constitúen entre o arredor do 30-40% do pneumático non se empregan para o asfalto, polo que se deben destinar a outros usos, polo xeral de reciclaxe .

En USA empregáronse 4050 t de pneumáticos en estradas en 1980, cifra que aumentou a 25200 t en 1986. A normativa americana de estradas aprobada en 1991 estableceu o obxectivo de incrementar o uso de caucho no asfalto, requirindo o emprego de caucho nun mínimo do 5% dos pavimentos para 1994, cifra que para 1997 debería superar o 20%. Este último obxectivo suporía o uso duns 70 millóns de rodas, un 25-28% do total xerado, se ben xa se ten producido unha moratoria nestes obxectivos.

En Europa, a reutilización para asfaltos non atinxiu en 1999 máis do 2% do total de pneumáticos usados, tendo máis importancia o seu emprego en superficies deportivas e pavimentos de seguridade, cun consumo superior ao 8% dos pneumáticos usados.

### **Reutilizacións dos pneumáticos para outras aplicacións**

Atados uns aos outros, os pneumáticos enteiros poden-se empregar como muros de contención en diversas aplicacións, tais como tarefas de conservación da natureza en parques

naturais, en obras civís como as estradas, na recubrución de vertedeiros, en canais de recollida de lixiviados, etc. Unha utilización que pode consumir grandes cantidades de pneumáticos é o seu uso en estruturas rompeolas e arrecifes artificiais.

Os pneumáticos submerxidos no meio mariño ofrecen cavidades excelentes como refúxio ou habitat para numerosos peixes e soporte para percebes e outros organismos. Como barreiras parachoques teñen aplicación en puntos difíciles de estradas. Na actividade agrogandeira, os pneumáticos teñen diversas aplicacións útiles, desde a anclaxe de cubertas plásticas até formar cercados. A maioría dos pneumáticos xerados nas actividades agrogandeiras reutilízan-se nas propias explotacións.

No Club Náutico de A Coruña construíu-se una barreira flotante par a protección dos barcos con mais de 30.000 pneumáticos unidos por unha corda de nylon. Por outra banda, a Consellería de Industria tamén tiña proposto a súa utilización na suxeción de entulleiras de explotacións de lousa nas comarcas de Valdeorras e de Morneau.

### **Recauchutado**

O recauchutado consiste na substitución do debuxo gastado ou capa de rodadura por outro novo. Con esta finalidade só se poden empregar as cubertas que non estén danadas nen teñan deformacións que reduzan a súa utilidade. En xeral a vida útil do pneumático é mui superior a da súa capa de rodadura, polo que a maioría pode someter-se a dous ou mais procesos de recauchutado.

En termo promedio, o recauchutado atinxe o 22% dos pneumáticos usados en países como Italia ou Dinamarca, cunha media do 17% na UE e un 14% no Estado español. Ten unha maior aplicación no caso de pneumáticos de camiión, que se recauchutan entre tres e cinco veces, dando-lle unha vida útil de até 800.000 km. En USA, arredor do 60-70 dos pneumáticos de camiión e autobús son recauchutados, mentres que os pneumáticos de autocarro só se recauchutan nun 10%. No Estado español, a maioría dos pneumáticos de camiión recauchutan-se unhas dúas veces, dando-lle a cada pneumático tres ciclos de vida.

O alto prezo dun pneumático novo de camiión orixina un aforro importante cando se opta polo recauchutado. Este aliciente é menos notório no caso dos pneumáticos pequenos, polo que o uso de recauchutados en automóbeis é inferior. Por outra banda, a confianza do usuario semella ser a chave para un incremento do uso de recauchutados de autocarro, algo que se pode acadar cun verdadeiro controle e garantía de calidade.

O recauchutado pode considerar-se a mellor opción de aproveitamento dos pneumáticos, aforrando un 70% da enerxía necesaria para fabricar un pneumático novo, e a totalidade da materia prima que se destinaria a resíduo.

### 3. INCINERACIÓN E COINCINERACIÓN DE RESÍDUOS

#### Incineración e saúde

Existen numerosas probas e estudos que documentan o impacto ambiental das emisións da incineración de resíduos, que van desde as partículas, os gases ácidos, os metais pesados, as dioxinas e furanos, os compostos orgánicos volátiles ou os hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Os efectos para a saúde son numerosos. Citamos a continuación os efectos observados nalgúns estudos realizados con poboacións expostas á contaminación de incineradoras en diferentes partes do Mundo, principalmente ao longo dos anos 90 do século pasado:

- Aumento de diferentes casos de cancro: 44% en sarcoma de tecido brando, 27% en linfoma non-Hodgkin's, 670% en cancro de pulmón, 37% en cancro de figado, 100% en mortalidade por cancro infantil, incidencia significativa de cancro de laringe
- Maior incidencia de enfermidades respiratorias: maior consumo de medicamentos para enfermidades respiratorias, aumento de nove veces a incidencia de tos, maiores dificultades para a respiración, problemas pulmonares en nenos, maior incidencia de bronquitis
- Alteración da proporción de sexos nos nacementos
- Malformacións conxénitas tais como nenos con *labio leporino*, espiña bífida e hispopadías
- Ocorrência dun elevado número de embarazos múltiples
- Afeccións á secreción de hormonas tiroideas en nenos
- Incremento da incidencia de alerxias, constipados comúns e doencias en xeral en nenos de idade escolar.

Algunhas destas enfermidades tamén teñen presentado unha maior incidencia entre traballadores expostos á contaminación de incineradoras, destacando ademais a mortalidade por cancro de estómago e de esófago. O mesmo pode ocorrer no caso da coincineración de resíduos que, segundo a Lei de Prevención de Riscos Laborais, entra dentro da consideración de proceso potencialmente perigoso (Art. 4º, apartado 5º).

#### Co-incineración de resíduos en indústrias

A recente directiva europea sobre a incineración de resíduos e o control das súas emisións fixa límites máis estrictos para a maioría destes contaminantes, deixando en mans dos Estados membros (e no noso caso da Comunidade Autónoma) a fixación de límites máis estrictos ou a inclusión de límites para outros contaminantes, en particular para os hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Desde o punto de vista ambiental, tanto a incineración como a coincineración de residuos provocan emisións de numerosos contaminantes químicos, e incrementan considerabelmente a concentración dalgúns destes contaminantes, como as dioxinas e furanos, contidos nos residuos antes da súa incineración. Segundo fontes do Ministerio de Alimentación de Dinamarca, a incineración de carne e alimentos animais multiplica por entre oito e dezaseis veces a cantidade de dioxinas que os residuos tiñan antes de seren incinerados.

A coincineración de disolventes orgánicos como residuos na cementeira Castle Cement de Ribblesdale (Reino Unido) supuxo un forte incremento das emisións de diferentes contaminantes. Un primeiro estudo comparativo detectou incrementos de Cádmiio (66%), chumbo (107%), cobre (242%) e dioxinas (47%). Outra análise comparativa detectaba incrementos do 40% nas emisións de partículas, 28% nas de monóxido de carbono, 76% nas de amoniaco, 225% nas de diversos metais pesados (Pb, Mn, Cr, Ni, Hg, Tl, Cd, Va) e 8% nas de dioxinas, mentres que os gases ácidos vían reducidas as súas emisións (66% no caso do HCl e 21% no do HF).

Estre os escasos datos de emisións procedentes da coincineración de residuos en cimenteiras do Estado español temos os resultados dos estudos encargados polo Goberno Vasco, realizados durante probas de combustión de fariñas cárnicas. Estes estudos confirman o incremento dos niveis de emisión de contaminantes tales como as partículas, o monóxido de carbono o dióxido de enxofre, os óxidos de nitróxeno e os compostos orgánicos volátiles. Os resultados mostran-se comparativamente cos valores máximos de emisión regulados pola directiva 2000/76/CE na seguinte táboa.

		<b>Emisión na coincineración de fariñas cárnicas en cimenteiras</b>					
		Directiva 2000/76/CE 04-12-00		Emisións en cimenteiras co- incinerando fariñas cárnicas			
		A	B	C	D	E	
Partículas	mg/m <sup>3</sup> N	10	30	<b>53</b>	17	<b>41</b>	
HCl	mg/m <sup>3</sup> N	10	10	<10	-	<7	
HF	mg/m <sup>3</sup> N	1	1			0.22	
CO	mg/m <sup>3</sup> N	50	*?	<b>2541</b>	<b>3283</b>	<b>5195</b>	
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> N	50	50	<13	51	<6	
NO <sub>x</sub> , Novas	mg/m <sup>3</sup> N	200**	500	<b>902</b>	389	<b>771</b>	
Existentes		400	800***				
COV	mgCOT/m <sup>3</sup> N	10	10	<b>12.5</b>	<b>17.4</b>	<b>35.3</b>	
Mercúrio	µg/m <sup>3</sup> N	50	50	<16	<b>&lt;200 ?</b>	<10	
Cádmiio + Talio	µg/m <sup>3</sup> N	50	50	<5 (Cd)	<b>&lt;125 (Cd)</b>	<b>77</b>	
Zinc				81	81	86	
Selénio				<33	<625	-	
Outros MP	µg/m <sup>3</sup> N	500	500	<63	<350	<82	
Dioxinas+furanos	ngET/m <sup>3</sup> N	0.1	0.1	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>	
HAP		A fixar por cada Estado ou CC.AA.		<b>¿?</b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>	



A: Incineración de residuos. B: Coincineración de residuos en cementeiras. C: Cementeira Arrigorriaga, 12-01-01. D: Cementeira Añorga, 16-01-01. E: Cementeira de Lemona, 11-01-01.

COV: Substancias orgánicas como gas ou vapor.

Outros MP: Metais e compostos dos seguintes metais: Antimonio, Arsénico, Plomo, Cromo, Cobalto, Cobre, Manganeso, Niquel e Vanádio.

HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

\* O límite até o de hoxe vixente na lexislación do Estado español (Lei 38/1972) é de 1819 mg/m<sup>3</sup>N; A directiva indica que os Estados membros poderán fixar límites de emisións máximas para o CO.

\*\*No caso da incineración o límite para novas instalacións tamén se aplica á instalacións existentes de mais de 6 t/h (<50.000 t/ano).

\*\*\*As cementeiras que comecen a co-incinerar residuos antes de 28-12-2004 considerarán-se como instalacións existentes.

Destes estudos derivan-se varias conclusións. En primeiro lugar, o aumento das emisións de monóxido de carbono (CO) e de compostos orgánicos volátiles (COV) indica que se está realizando unha má combustión, que empeorou como consecuencia da adición de residuos. Ou aumento das emisións de COV subxire un incremento nas emisións de hidrocarburos policíclicos (HAP), algúns deles, como o a-benzopireno, son coñecidos canceríxenos para as persoas e mutaxénicos para animais.

Estes resultados poden-se comparar cos resultados de análises das emisións de combustión de pneumáticos ao ar libre. En incendios que teñen ocorrido en vertedeiros de pneumáticos comprobou-se a emisión de elevadas cantidades de contaminantes tóxicos á atmosfera. En Winchester (Virxinia, USA) en 1983 viu-se que os niveis de monóxido de carbono e HAP atinxían valores perigosos. Atoparon-se sete conxéneres de HPA cuxas concentracións estaban entre 3 e 461 µg/m<sup>3</sup>. Noutro estudo experimental de combustión ao ar libre, atoparon-se mais de 50 componentes orgánicos volátiles, entre eles diferentes hidrocarburos mono e poliaromáticos. Tamén se atoparon elevadas concentracións de zinc. Se ben o zinc e outros contaminantes poden ficar atrapados maiormente nas cinzas, os datos anteriores indican-nos que tanto na coincineración como na combustión ao ar libre temos elevadas emisións de monóxido de carbono e compostos orgánicos volátiles, e probablemente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Sen embargo, os HAP non foron analisados nos estudos realizados en cementeiras, como tampouco se determinaron as emisións de dioxinas e furanos, as substancias máis tóxicas que se coñecen. Resulta chamativo que as empresas cementeiras continuen negando a existencia de emisións de dioxinas e rexeiten estudar como incidiría a combustión de residuos sobre estas emisións, cando diferentes informes confirman que a industria cementeira está no cuarto lugar no ranking de fontes de emisión de dioxinas.

#### Emisións ao ar de dioxinas e furanos no Reino Unido

Proceso	Número de plantas	Emisión de Dioxinas e furanos (gET/ano)
Incineración de RSU	10	122-199
Incineración de residuos hospitalários	5	0.99-18.3
<b>Indústrias cementeiras</b>	<b>5</b>	<b>0.29-10.4</b>
Incineración de residuos químicos	10	0.02-8.7
Incineración de lodos de depuración	5	0.001-0.37

O Convénio Internacional para a eliminación e a prevención dos contaminantes orgánicos persistentes asinado en Estocolmo en 2001 por mais de 120 países considera que as cementeiras que co-incineran residuos se atopan entre as catro fontes principais de emisión de dioxinas e furanos.

Por outra banda, a escaseza de datos e o acceso público aos mesmos é notábel, especialmente no Estado español. Ademais, a disponibilidad de dúas ou tres análises puntuais non se poden considerar representativas das emisións reais, polo que a aplicación do principio de precaución debería levar á realización de estudos exhaustivos das emisións previas de todos os tipos de contaminantes e á realización de probas que permitan coñecer a incidéncia real sobre as emisións da introdución de residuos nas instalacións cimenteiras ou doutro tipo. Han de avaliar-se tamén os efectos sinérxicos de diferentes emisións e, para cada caso particular, estes estudos de emisións deben-se completar con estudos específicos de dispersión ambiental de contaminantes e poboacións expostas.

### Proxectos de coincineración no Estado español

Durante os últimos anos foron numerosos os intentos de converter as cimenteiras en lugares onde incinerar residuos. A continuación presentamos unha relación de diversos proxectos que seguramente podería ser aínda mais ampla.

<b>Cementeira</b>	<b>Coincineración</b>	<b>Situación</b>	<b>Observacións</b>
Asland-Sagunto	Fariñas cármicas	En proxecto	
Italcementi-Añorga	Fariñas cármicas		Oposición veciñal
Italcementi-Arrigorriaga	Fariñas cármicas		
Italcementi.Lemoa	Fariñas / Pneumáticos		
Hisalba-Carboneras			Oposición veciñal e municipal
Hisalba-Gador	CER	En proxecto	
Hisalba-Jerez	CER	En proxecto	
Hisalba-Lorca	CER	En proxecto	Comisión de seguimento
Hisalba-Rorredonjimeno	Resíduos de madeira e celulósicos (pañais)	En trámite	Oposición cidadá
Masaveu-Aboño	Diversos residuos	En proxecto	
Masaveu-La Robla	Diversos residuos	En proxecto	
Portland-Mor. de Tajuña	Peumáticos, aceites e RFL	En trámite	
Portland-Olazagutia			Oposición municipal
Uniland-Sta Margarida i els Monjos	Pneumáticos e fariñas Lodos de depuradora?	Proxecto	Plataforma cívica contrária
VC-Alcanar	Pneumáticos	Proxecto	Oposición veciñal
VC-Buñol	Fariñas	Probas	Oposición veciñal e municipal
VC-Castillejo	Fariñas	Probas	
VC-Lloseta	Resíduos de madeira		
VC-Morata de Jalón	Fariñas	Proxecto	Oposición veciñal e municipal
VC-Sant Vicent Raspeig	Aceites e pneumáticos	Autorizado	Oposición veciñal
VC-Sant Vicent Raspeig	Fariñas	Proxecto	Oposición veciñal
Cosmos-Toral dos V			Oposición veciñal e municipal
Cosmos-Oural	Pneumáticos	En trámite	Oposición social
Cosmos-Oural	Fariñas	¿Proxecto?	

CER: Combustíbel elaborado de residuos. VC: Valenciana de Cementos

En diferentes cimenteiras teñen-se tramitado solicitudes para incinerar diversos tipos de residuos industriais, incluíndo residuos perigosos: aceites industriais, pinturas, residuos aceitosos, residuos de hidrocarburos, lodos de depuración, fondos de tanques, hidrocarburos

con lodos, fondos de destilación, líquidos orgánicos pastosos, residuos haloxenados, fariñas cárnicas, etc.

No caso da cementeira de Cosmos en Oural, os pneumáticos serían subministrados desde a empresa Cerámicas Campos que se encarga da súa trituración. Nesta mesma empresa recollen-se aceites de automoción que teñen que someter-se a un proceso de limpeza e centrifugado antes da súa combustión, orixinando-se un residuo aceitoso con alto contido en metais. Este, xuntamente cos aceites que superen as concentracións en PCBs non poden ser incinerados por Cerámicas Campos, e sen embargo hoxe non se coñece cal é o destino que se lles está a dar. Non sería sorprendente que nun futuro eses residuos tamén acabaran na Cementeira de Sárria, seguindo os pasos que outras cementeiras quixeron dar antes. A intención da empresa de adaptar-se para a queima doutro tipo de residuos xa se puxo de manifesto ao ofrecer-se para queimar fariñas cárnicas. Incluso no proxecto de combustión de pneumáticos se indica a posibilidade dunha futura ampliación.

### **Resíduos e combustíbeis fósiles**

En relación co aforro de combustíbeis fósiles, ha de ter-se en conta que, no caso das cementeiras, emprega-se como combustíbel coque de petróleo, que é un subproduto industrial. Substituír un supduto excedentario por un residuo tamén de orixen fósil non implica realmente un aforro de combustíbel fósil. Neste sentido semella mais razoábel continuar empregando o coque, do que se poden derivar menos aplicacións uteis que do caucho dos pneumáticos.

En xeral, ningún residuo derivado do petróleo (pneumáticos, plásticos, disolventes, etc) pode considerarse un combustíbel renovábel. A contribución ao efecto invernadeiro do uso enerxético destes residuos é igual ou superior a causada polo uso de combustíbeis fósiles ordinarios, xa que a eficacia de recuperación enerxética nas incineradoras de residuos acostuma ser inferior.

### **Afeccións ao produto**

No caso da co-incineración de fariñas cárnicas en cementeiras comprobouse un empeoramento da calidade do produto, xa que perde resistencia como consecuencia do aumento de fósforo e cloro na súa composición. Cando se queiman pneumáticos, propon-se non superar o 20% da substitución de combustíbel para non afectar negativamente a calidade, existindo opinións contrarias sobre a posíbel modificación das características do produto.

Por mais que as empresas neguen afeccións negativas, cabe esperar que a incorporación de diferentes residuos aos materiais de construción dane a médio e longo prazo a imaxe destes. Hoxe xa existen restriccións ao uso de cementos e doutros materiais en construcións de tipo biodinámico ou ecolóxico.

#### **4. LEXISLACIÓN SOBRE EMISIÓN DE INCINERADORAS E CO-INCINERADORAS**

A Directiva 2000/76/CE, de 4 de decembro de 2000 (DOCE do 28 de decembro de 2000) regula as emisións directas ou indirectas á atmosfera, á auga ou ao solo desde fontes puntuais ou difusas das instalacións de incineración. A directiva fixa as exixencias mínimas que deben cumprir as instalacións de incineración e coincineración e indica que o principio de precaución proporciona unha base para adoptar posteriores medidas, e mesmo que o cumprimento dos valores límites de emisión da presente directiva debe considerarse condición necesaria pero non suficiente para o cumprimento dos requisitos que establece a directiva 96/61/CE sobre a prevención e control integrados da contaminación, xa que este pode implicar a adopción de valores límites de emisión máis rigurosos.

A Directiva surge no contexto do V Programa comunitario de acción ambiental entre cuxos obxectivos están o de non superar as cargas e niveis críticos dalgúns contaminantes ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , metais pesados e dioxinas) e o de protexer á poboación dos perigos sanitarios recoñecidos derivados da contaminación atmosférica. Este programa fixou obxectivos concretos, tais como a redución das emisións de dioxinas nun 90% (referencia 1985) e a redución de todo tipo de emisións de Cd, Hg e Pb nun mínimo do 70% (referencia 1995). Por outra banda, o Protocolo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) asinado pola UE establecía xa límites á emisión de dioxinas e furanos.

##### **Ámbito de aplicación e definicións**

A Directiva aplícase a instalacións de incineración e coincineración de residuos, ficando excluída a incineración de residuos vexetais de orixe agrícola ou forestal, os residuos de madeira non tratados, a incineración in situ con recuperación de enerxía de residuos de fábricas de celulosa virxen, e a incineración dos residuos de animais, entre outros. A incineración de aceites usados que cumpren determinadas características rixirase polas determinacións correspondentes á incineración de residuos non perigosos, se ben os límites de emisión son agora os mesmos nun caso que no outro.

Por instalación de incineración enténdese calquera instalación na que se realice un tratamento térmico dos residuos, incluída a pirólise, a gasificación ou o proceso de plasma na medida en que as substancias resultantes do tratamento se incineren a continuación, e afectando a todos os elementos da instalación, incluíndo as instalacións de recepción e pretratamento de residuos. Son instalacións de coincineración aquelas nas que se empreguen ou traten residuos, pero nas que a finalidade principal sexa a xeración de enerxía ou a fabricación dun produto. Asimismo, a Directiva diferencia as incineradoras ou coincineradoras existentes, que serán aquelas que teñan autorización antes do 28-12-2002 ou estexan en operación antes de 28-12-2003 ou incluso 2004.

Considera residuos da incineración toda materia sólida ou líquida que se xere en calquera proceso dentro das instalacións de incineración ou coincineración, incluíndo catalizadores, lodos de depuración de gases ou augas residuais, etc.

##### **Condicións de operación de incineradoras e coincineradoras**

As condicións de operación deberán ser tais que o contido en COT nas cinzas e escorias sexa menor do 3% (ou materia volátil por combustión menor do 5%). O tempo de residencia dos

gases será como mínimo de 2 segundos, a mais de 850°C para residuos en xeral e a mais de 1100 °C para residuos perigosos que conteñan mais do 1% en substancias organocloradas.

Coa finalidade de cumprir este requisito, no caso de instalacións de incineración, cada liña de incineración estará equipada cando menos con un queimador auxiliar, que no caso de que a temperatura dos gases non atinxira os valores anteriores, así como na posta en marcha e parada, empregará gasóleo ou outro combustíbel que non orixine emisións maiores que o gasóleo. Ademais, incineradoras e coincineradoras contarán cun dispositivo automático que impida a alimentación de residuos no caso de que non se cumpran as condicións anteriores, ou cando se excedan os límites de emisión relativos ás medicións en contínuo de contaminantes.

Por último, as instalacións de incineración e coincineración construírán-se e explotarán-se de modo que impidan emisións a atmosfera que provoquen unha contaminación atmosférica significativa a nivel do solo. A altura da cheminea calculará-se de forma que fiquen protexidas a saúde humana e o medioambiente.

Medirán-se en contínuo as seguintes condicións de operación: no forno a temperatura, e nos gases O<sub>2</sub>, P, T e vapor de auga. O tempo de permanencia, temperatura mínima e contido en O<sub>2</sub> dos gases verificará-se polo menos unha vez nas condicións de operación máis desfavorábeis.

Na autorización determinarás-se o período máximo de funcionamento anómalo, e no caso de avaria o operador reducirá ou deterá o funcionamento da instalación o antes posíbel. En ningún caso se poderá seguir incinerando residuos durante un período de tempo superior a catro horas ininterrompidas cando se superen os valores límite de emisión, e a duración acumulada de funcionamento anómalo non superará as 60 h por ano. En ningún caso se poderán superar os 150 mg/m<sup>3</sup> de partículas, en valores semi-horarios, nen os límites para monóxido de carbono (CO) e o carbono orgánico total (COT).

### **Valores límites de emisión á atmosfera**

A seguinte táboa resume os valores límites das diferentes emisións, segundo o tipo de instalación de que se trate. As concentracións han de referir-se aos gases cunha concentración normal de oxíxeno (O<sub>s</sub>), de tal forma que as concentracións obtidas na medida das emisións (E<sub>m</sub>) correxirán-se da seguinte forma:

$$E_s = (21 - O_s) / (21 - O_m) \times E_m$$

onde E<sub>s</sub> é a concentración de emisión referida á concentración normal de oxíxeno e O<sub>m</sub> a concentración real de oxíxeno durante a medición.

En instalacións de coincineración con finalidade principal enerxética ou na combustión de biomasa, os valores límites para algúns parámetros veñen fixados en función da potencia da instalación. Os valores indicados nesta columna son os valores de proceso en ausencia de coincineración de residuos. Para determinar os valores límites de emisión (C<sub>total</sub>) no caso de coincineración, aplicará-se a fórmula seguinte:

$$C = C_{total} = (V_{residuo} \times C_{residuo} + V_{proceso} \times C_{proceso}) / (V_{residuo} + V_{proceso})$$

onde:

V<sub>residuo</sub> é o volume de gases que se xeran a partir da incineración dos residuos

$V_{\text{proceso}}$  é o volume de gases que se xeran na actividade principal, en ausencia de coincineración de residuos

$C_{\text{residuo}}$  é a concentración límite de emisión fixada para a incineración de residuos (coluna A da táboa)

$C_{\text{proceso}}$  é a concentración límite para o proceso da actividade principal indicada na táboa (coluna C) ou na lexislación sectorial respectiva.

**Límites de emisión para: A, incineración; B, coincineración en cimenteiras; C, outras instalacións de coincineración**

		A	B	C
Condições de medida (gas seco a 273 °C e 101,3 kPa) <sup>a</sup>		11%O <sub>2</sub>	10%O <sub>2</sub>	6%O <sub>2</sub>
<u>Parámetros de medición continúa</u>				
Valores medios diarios		$C_{\text{total}}$	$C_{\text{total}}$	$C_{\text{proceso}}^b$
Partículas	mg/m <sup>3</sup> N	10	30	30-50
HCl	mg/m <sup>3</sup> N	10	10	
HF	mg/m <sup>3</sup> N	1	1	
CO	mg/m <sup>3</sup> N	50	<sup>f</sup>	
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> N	50	50	200-850
NO <sub>x</sub>				200-400
-Instalacións novas ou existentes de mais de 6 t/h (<>50.000 t/ano)	mg/m <sup>3</sup> N	200		
-Instalacións existentes de até 6 t/h		400		
-Instalacións novas			500	
-Instalacións existentes			800 <sup>c</sup>	
Substancias orgánicas como gas ou vapor	mgCOT/m <sup>3</sup> N	10	10	-
<u>Medición mínima semestral (trimestral durante o primeiro ano de funcionamento)<sup>e</sup></u>				
Mercúrio <sup>d</sup>	μg/m <sup>3</sup> N	50	$C_{\text{total}}$ 50	50
Cádmio + Talio <sup>d</sup>	μg/m <sup>3</sup> N	50	50	50
Metais e compostos dos seguintes metais: Antimonio, Arsénico, Plomo, Cromo, Cobalto, Cobre, Manganeso, Niquel e Vanádio	μg/m <sup>3</sup> N	500	500	500
Dioxinas e furanos <sup>d</sup>	ngEqT/m <sup>3</sup> N	0.1	0.1	0.1
<u>A establecer opcionalmente polos Estados membros.</u>				
Hidrocarburos poliaromáticos e outros contaminantes				

<sup>a</sup> Os valores obtidos directamente deberán-se correxir con referencia a estas condicións

<sup>b</sup> Para calcular a  $C_{\text{total}}$  seguirá-se o procedemento indicado mais abaixo

<sup>c</sup> A este respecto, as cimenteiras que comecen a co-incinerar residuos antes de 28-12-2004 considerarán-se como instalacións existentes.

<sup>d</sup> As limitacións referidas á dioxinas e furanos, Cd+Tl e Hg son de aplicación xeral a calquera proceso de coincineración de sectores industriais diferentes dos especificados.

<sup>e</sup> Para os metais pesados son valores medios medidos durante períodos de 30' a 8 h, e para dioxinas de 6 a 8 h.

<sup>f</sup> A fixar pola autoridade competente

Como podemos observar na táboa, en relación coas instalacións exclusivamente de incineración, a lexislación mais actual como é esta directiva, permite ás cimenteiras que coíncineren residuos unhas emisións 3 veces superiores en partículas, 2,5 veces superiores en óxidos de nitróxeno e sen límite nas emisións de monóxido de carbono. Isto debe-se a que as cimenteiras viñan emitindo maiores concentracións dalgúns contaminantes, polo que a redución até estes niveis suporía, en principio, unha mellora ambiental.

Sen embargo, isto só é certo en parte, pois hai moitos parámetros que non están limitados, polo que unha cementeira poderá emitir calquera concentración deses parámetros, como por exemplo, os hidrocarburos aromáticos policíclicos. Estes, como veremos, presentan unha especial significancia no caso da combustión de pneumáticos. Tamén poderá emitir calquera concentración de metais pesados non regulados tais como zinc ou selénio, entre outros moitos compostos contaminantes non regulados, incluídas os compostos bromados análogos das dioxinas e furanos. Incluso no caso dalgúns parámetros regulados, como algúns dos metais pesados, ao fixaren-se valores para a suma de diferentes metais, unha cementeira poderá incinerar residuos que supoñan unha emisión maior de aqueles metais pesados (e doutros contaminantes) que sen co-incineración non emitia.

Estamos por tanto, diante dunha diversificación e ampliación do número de contaminantes emitidos polas cementeiras, aínda que as concentracións daqueles poucos parámetros regulados se teñan que manter a un nivel baixo.

### Resíduos e augas residuais

As augas residuais procedentes da depuración de fumes de incineración serán sometidas a un tratamento individual ou conxunto con outras augas residuais, na propia instalación ou fora dela, determinando sempre as emisións de contaminantes procedentes de forma específica das augas residuais de depuración de fumes de incineración. Estas emisións terán que cumprir os límites que se indican na seguinte táboa. Os Estados poderán, ademais, establecer límites para hidrocarburos poliaromáticos policíclicos e outros contaminantes.

<b>Emisións límite en augas residuais procedentes da depuración de fumes</b>		
Contaminante	Unidades	Concentración límite
Sólidos en suspensión (medición diaria)	mg/l	30 (95% das mostras) 45 (100% das mostras)
Metais e compostos dos seguintes metais (medición mínima mensual)		
Mercúrio	mgHg/l	0.03
Cádmio	mgCd/l	0.05
Talio	mgTl/l	0.05
Arsénico	mgAs/l	0.15
Plomo	mgPb/l	0.2
Cromo	mgCr/l	0.5
Cobre	mgCu/l	0.5
Níquel	mgNi/l	0.5
Zinc	mgZn/l	1.5
Parámetros de medida mínima semestral (trimestral durante o primeiro ano)		
Dioxinas e furanos	mgET/l	0.3

Cando non se traten separadamente, será necesario realizar analíticas de cada un dos parámetros nos diferentes fluxos de entrada e no fluxo de saída da estación depuradora. Asimesmo. O caudal de augas residuais procedentes da depuración de fumes deberá-se limitar na medida das posibilidades, e nunca se poderá recurrir á dilución coa finalidade de cumprir os límites de emisión.

Nas instalacións de incineración ou co-incineración deberá-se dispor de capacidade de almacenamento para escurrentia de precipitacións e para augas procedentes de derrames e de operacións de luta contra incendios.

Os residuos xerados nas instalacións de incineración deberán-se minimizar e, na medida do posíbel, reciclar-se. Antes de seren eliminados, debe-se analizar a súa fracción solúbel total e de metais pesados, determinando o poder contaminante do resíduo.

En relación con isto último, vemos que só se fan recomendacións cualitativas para os residuos xerados, polo que a contaminación dos gases ou da auga se poderá transferir aos residuos sólidos, sen que realmente camiñemos cara unha minimización das emisións globais.

### **Acceso público á información**

Segundo indica a Directiva, porá-se a disposición do público cando menos a seguinte documentación:

- As solicitudes de instalación
- As decisións da autoridade competente ao respecto, incluída a autorización
- Un informe anual sobre o funcionamento e seguimento da instalación, que dará conta como mínimo da marcha do proceso e das emisións a atmosfera e ás augas.

### **Datas de entrada en vigor e aplicación**

A directiva 2000/76/CE entrou en vigor o día da súa publicación, o 28 de decembro de 2000. Porén, os límites de emisión afectan de diferente forma ás instalacións existentes que as novas. Neste sentido, terán que cumprir os límites de emisión e demais condicións establecidas na directiva:

- As instalacións novas, a partir do 28-12-02
- As instalacións existentes, a partir do 28-12-05

Ademais, considerarán-se instalacións de incineración existentes aquelas que, estando en funcionamento, ou contando con autorización conforme coa normativa comunitaria vixente, ou tendo presentado unha solicitude completa de autorización antes do 28-12-02, comecen a incinerar residuos a mais tardar o 28-12-04.



## 5. O USO DE PNEUMÁTICOS COMO COMBUSTÍBEL

### Aspectos ambientais da combustión de pneumáticos en cimenteiras, celulosas e caldeiras

A experiencia no uso deste combustíbel é moi escasa. A comezos dos noventa en USA, só sete fornos de cemento (o 3% do total) empregaban pneumáticos como combustíbel auxiliar (10-25%), xuntamente con dúas cimenteiras en Europa e catro en Xapón. Algunhas indústrias da celulosa tamén queiman pneumáticos como combustíbel suplementario.

Entre os aspectos medioambientais, teñen-se comparado as emisións en fornos que empreguen pneumáticos con outros que non os empreguen. Nunha primeira aproximación, algúns autores afirman que o uso de pneumáticos reduce a xeración de óxidos de nitróxeno, e non afecta negativamente a outras emisións (Lund, 1996). Isto está relacionado co contido nalgúns elementos dos pneumáticos e do combustíbel habitual, que podemos resumir nos seguintes datos:

	Pneumáticos	Carbón
Enxofre	1.23%	1.59%
Nitróxeno	0.24%	1.76%
Cinzas	6.23%	4.7%

Os mesmos autores concluen asimesmo que os controles existentes sobre as emisións das cimenteiras son suficientes sempre que non se exceda a porcentaxe do 20% do valor calorífico total do combustíbel utilizado, o que, por outra banda, indica que por riba desta porcentaxe podería agravar-se a situación.

Sen embargo, nesta aproximación non se ten en consideración a presenza nos pneumáticos de cloro e outros precursores de diferentes contaminantes perigosos, entre eles as dioxinas e furanos, así como diversos metais pesados. Semella claro que o contido en enxofre e nitróxeno non abonda para determinar a totalidade das emisións que se poden derivar da combustión de pneumáticos. É así que a maioría dos Estados americanos requiren ensaios de combustión que mostren que as emisións non se ven afectadas negativamente.

Nas fábricas de celulosa existe tamén unha demanda de combustíbel de alto poder calorífico para combinar cos restos de madeira nas caldeiras de obtención de enerxía. Os pneumáticos troceados e sen aceiro teñen-se empregado até un total do 10% do combustíbel. As consideracións económicas son similares ás das fábricas de cemento, se ben os pneumáticos sen aceiro teñen un maior custo de pretratamento. Por outra banda, as condicións de emisión de fumes son diferentes, presentando unha maior problemática ambiental, tendo-se comprobado que incrementa a diversidade de partículas, e considerando que as modificacións nas emisións son tolerábeis se non se supera o 10% do poder calorífico como pneumáticos.

Mais detalladamente, o uso de pneumáticos en fornos de fábricas de celulosa supón os seguintes cambios nas emisións (Lund, 1996):

- escasa variación nas emisións de hidrocarburos polinucleares
- incremento das emisións de partículas entre nun 38-93%
- incremento de até un 1500% nas emisións de zinc, aínda que dentro das condicións de permiso
- emisións máis baixas de Cd e Pb, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>
- posibelmente maiores emisións de Cr (os pneumáticos teñen unha concentración de Zn e Cr moito maior que os combustíbeis convencionais).

O emprego de pneumáticos en caldeiras de servizo público (de calefacción ou de produción de electricidade) presenta condicións ambientais similares ás das caldeiras de fábricas de celulosa. Existen, por último, instalacións experimentais de produción enerxética que empregan pneumáticos como combustíbel principal, se ben presentan uns custos de investimento de 2 a 7 veces superiores ás térmicas convencionais e non están exentas de problemas de emisións (dioxinas, furanos, Zn, Cr, NOx...).

### **Proceso de craqueo e combustión de pneumáticos**

Segundo temos visto, os pneumáticos están formados fundamentalmente por unha masa de elastómero (polímeros) xuntamente con outros materiais. Os elastómeros son hidrocarburos, compostos de carbono e hidróxeno, nos que existen numerosos enlaces dobres e triples entre átomos de carbono.

O caucho sofre cambios co incremento da temperatura, primeiro de tipo físico e a temperaturas máis altas xa de tipo químico, existindo desprendimento de moléculas orgánicas e modificacións de composición. En particular, ten lugar un proceso de craqueo no que se forman novas substancias de menor tamaño que os polímeros iniciais e máis volátiles. Ten lugar, por tanto unha eclosión de vapores que entran en mescla coa fase gas.

Neste proceso de craqueo, en ausencia de hidróxeno suficiente que permita unha hidroxenación, forman-se grandes cantidades de moléculas cíclicas e policíclicas, como as indicadas na relación do cadro anexo. En condicións normais, das 74 substancias detectadas, 14 son gases e as restantes líquidas. Destas últimas, 47 son insaturadas cíclicas e 12 son saturadas lineais. Algunhas das substancias cíclicas son tóxicas e outras son cancerixenas, tendo a maioría estruturas moi similares a coñecidos compostos cancerixenos. En presenza de oxíxeno aumenta o número e a variedade de compostos, tendo-se identificado máis de 250 substancias diferentes.

No caso de que existan elementos halóxenos dispoñíbeis (cloro, bromo, etc), a avidez destas moléculas insaturadas polos mesmos dá lugar á formación de organohaloxenados cíclicos. A formación de substancias deste tipo, como son as dioxinas, dependen das condicións de temperatura, presentando un mínimo a 850 °C e outro por encima de 1200 °C, pero resintetizando-se en grandes cantidades noutros rangos de temperatura.

A descomposición por craqueo dos pneumáticos incia-se entre os 225 e 250°C, e os primeiros produtos do craqueo pasan a fase gas por riba dos 180 °C. O craqueo pode considerar-se completo a uns 500°C, sen que a esta temperatura teña lugar a combustión expontánea dos produtos de craqueo. Se non hai unha chama presente, estes produtos de craqueo non serán queimados. Ademais, a medida que descende a concentración de oxíxeno, aumenta a temperatura de ignición dos mesmos, facendo-se máis difícil que exista nestas condicións unha combustión completa.

O craqueo como fase previa á combustión é imprescindible, xa que a temperatura de combustión é superior á de craqueo, e o que realmente arde non é o pneumático senon os vapores que se desprenden del. O feito de que os primeiros produtos do craqueo son as substancias de maior tamaño e maior temperatura de ignición, fai que nas condicións de aquecemento progresivo dunha masa de pneumático exista unha diferenza considerábel entre o inicio do craqueo e da combustión.

O caucho é un mal condutor do calor, polo que resulta difícil que a temperatura do mesmo se eleve uniformemente en toda a masa dun trozo de pneumático nun corto intervalo de tempo. Así, ocorrerá que mentres existe craqueo na superficie do trozo de pneumático, o seu interior aínda estará a unha temperatura moi inferior. O tempo necesario para un craqueo completo cresce co tamaño do trozo considerado. Canto maior sexa o trozo de pneumático, maior será o seu percorrido no forno antes de destruír-se totalmente. Por todo isto, o tamaño dos trozos de pneumático alimentados é unha cuestión importante con consecuencias nas emisións.

En presenza de suficiente oxíxeno e tempo de reacción, todo o carbono e hidróxeno dos produtos de craqueo se convertería, en teoría, en  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Pero cando calquera destes factores é limitante, a combustión é incompleta, orixinando-se emisións de vapores orgánicos e carbono libre, e mais en concreto, compostos orgánicos volátiles e monóxido de carbono.

### **O uso de pneumáticos en cimenteiras**

Os elementos constituintes básicos do cemento son o cálcio, o silicio, o ferro e o aluminio, que se aportan contidos nos materiais calcáreo (rocha caliza), arxiloso (esquistos, arxilas) e silíceo (area). Estes materiais finamente triturados e mestrados cun combustíbel, xeralmente un tipo de carbón ou coque de petróleo, quentan-se a temperaturas de 1500-1600 °C en fornos rotatórios, producindo-se a descarbonatación da cal e a formación de silicatos de cálcio. Estes silicatos ou escórias trituran-se con xeso para orixinar o cemento. Os fornos rotatórios son grandes cilindros inclinados (70-100 m) polos que vai circulando en sentido descendente a mescla reaccionante durante un tempo de 1 a 4 h e en sentido ascendente o ar que entra previamente aquecido ao proceso e cuxo tempo de permanencia no forno vai de 4 a 12 segundos. Sen embargo, o tempo de permanencia dos gases no precalcinador é de só uns 2 segundos.

As grandes dimensións do forno fan difícil o control das condicións no mesmo. É importante conseguir que a temperatura se manteña estábel, para o que a concentración de oxíxeno debe ser baixa (<5%) e a mescla de combustíbel e materiais debe facer-se en mescla moi fina e homoxénea. A introdución de materiais húmidos ou heteroxéneos, as dosificacións inadecuadas ou as altas concentracións de oxíxeno poden alterar o proceso. A flexibilidade de operación á hora de queimar residuos e controlar as emisións está claramente limitada.

Os pneumáticos usados poden-se empregar como combustíbel alternativo, xeralmente substituindo unha pequena porcentaxe do combustíbel convencional. A experiencia internacional marca un límite máximo de substitución de entre un 15 e un 20%, de tal forma que a maioría dos proxectos se sitúan por debaixo do 15%. A introdución dos pneumáticos debe facer-se de forma precisa e controlada, evitando a entrada de ar falso no forno.

Os pneumáticos teñen polo xeral un poder calorífico superior ao do combustíbel ordinario, e ademais non é preciso separar o aceiro dos pneumáticos, xa que nas condicións do forno o ferro oxida-se completamente e actúa como un ingrediente necesario para a obtención do cemento, aínda que podemos considerar este como un uso pouco nobel para un material de custosa fabricación e non renovábel.

Os fornos equipados con preaquecedores poden queimar pneumáticos enteiros, mentres que os que non contan con preaquecedores só poden utilizar pneumáticos troceados, en tamaños que poden ir de 5x5 cm até 10x10 cm, se ben Paul (2000) indica a conveniencia de tamaños

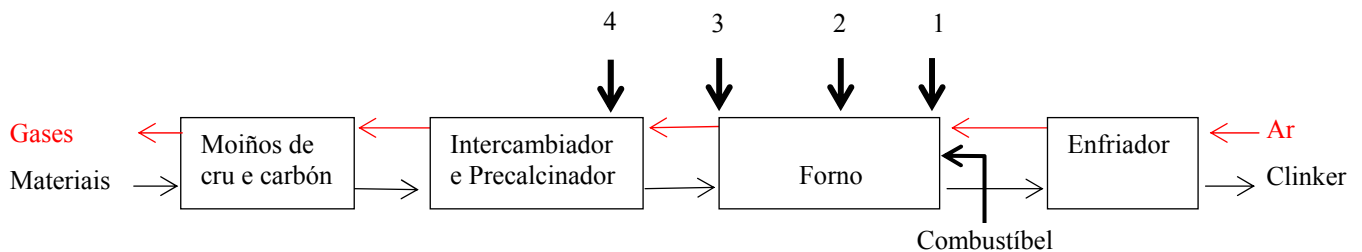
de 2,5x2,5 cm. En ambos casos é necesario un sistema de alimentación independente, que ben pode ser de tipo mecánico ou de fluxo. Estes últimos son sistemas sopladores, aplicábeis só para pneumáticos troceados, e con algúns problemas de funcionamento, polo que se usan mais os sistemas mecánicos de alimentación.

### Alternativas para a alimentación de pneumáticos en fábricas de cemento

Existen catro alternativas, fundamentalmente:

1. Entrada co combustíbel principal (só viábel no caso de pó ou triturado fino de pneumático)
2. Entrada por unha xunta intermedia do forno (existe nalgúns dos fornos de maior tamaño)
3. Entrada co cru, polo extremo contráριο á entrada de combustíbel
4. Entrada no intercambiador de calor, pasando posteriormente ao forno

Estas catro alternativas visualizan-se sobre o seguinte diagrama de bloques dunha fábrica de cementos.



Polo xeral, os pneumáticos troceados alimentan-se desde unha esclusa triple, e percorren un camiño no que só están en contacto con gases quentes procedentes da instalación, entrando despois en contacto co material nalgúns dos puntos da instalación que se indican na figura. Xa desde o momento que os trozos de pneumático acadan temperaturas superiores á 225 °C, comezarán a desprender vapores de craqueo, que pasarán á fase gas. Isto pode ocorrer xa no camiño que vai desde a esclusa triple até o contacto co cru, ou en todo caso no momento de mescla do caucho co cru. Os trozos de caucho continuarán o mesmo camiño que o cru, mentres que os vapores que se formen continuarán o camiño contráριο, o dos gases.

A entrada polo cambiador é a proposta no proxecto da empresa Cosmos en Oural. Nesta zona é mais difícil a combustión, pola baixa concentración de oxíxeno, a menor temperatura, o maior punto de ignición dos produtos do craqueo, e o menor tempo de residencia que lle queda aos gases.

A entrada de pneumáticos polo intercambiador é a alternativa con maiores riscos de que se emitan substancias procedentes do craqueo sen queimar. A introdución de pneumático finamente troceado (pó crioxénico) pola zona dos queimadores (ponto 1), ou de troceado por unha zona intermedia (ponto 2), permitiría evitar esta situación. Esta última solución, consistente en alimentar os pneumáticos por unha xunta rotatória situada nunha zona intermedia do forno, aínda que mais próxima aos queimadores, ofrecería un camiño para a desintegración e combustión completa do pneumático sólido, e outro camiño suficientemente longo para a combustión completa dos gases de craqueo, que seguen a dirección oposta á do sólido.

## Posíbeis medidas correctoras

Será necesario coñecer de que medidas correctoras dispón unha cementeira e cales outras se poden tomar en consideración neste tipo de proxectos. Polo xeral, a única medida preventiva que se ofrece en proxectos de co-incineración é a limitación da porcentaxe de combustíbel substituído por residuos, polo que se busca que aínda que se incrementen as emisións, estas continúen dentro dos valores legalmente permitidos, xa que as novas emisións se dilúen na totalidade de fumes do proceso. Esta solución non nos parece unha solución aceptábel, pois parte exclusivamente da base de cumprimento da lexislación vixente, mesmo aproveitando as súas deficiencias e a súa obsolescencia (como ocorre claramente coa normativa española de 1975 sobre emisións a atmosfera), no lugar de adaptarse aos principios de precaución e prevención do dano ambiental e os efectos sanitarios adversos.

Analizaremos entón a posibilidade e a eficacia doutras medidas correctoras. A existencia dunha antorcha ou queimador suplementario para destruír as emisións orgánicas que se produzan é unha exixencia que a nova directiva europea fai a todas as incineradoras, aínda que non ás co-incineradoras. Pero non se nos escapa que en moitos casos de co-incineración tería a mesma funcionalidade, que é a de aumentar a temperatura dos gases no caso de que esta caia pode debaixo do mínimo establecido. Na combustión de pneumáticos en cementeiras, os vapores dos pneumáticos que entran ao cambiador (opción 4 de alimentación) atoparán-se a menos de 850 °C, polo que o queimador auxiliar sería unha medida correctora de importancia.

O tipo de sistemas de depuración de fumes existentes ha de tomarse en consideración. O débil carácter eléctrico dos compostos orgánicos cíclicos e policíclicos (de probábel formación na combustión de pneumáticos) implica que non van ser captados con eficacia nos filtros electrostáticos, ao contrario do que ocorre coas partículas de SO<sub>2</sub> ou HCl. Tamén van saír máis facilmente do forno os metais máis volátiles, que se evaporan a temperaturas máis baixas (Pb, Hg, Cd, Zn) e serán arrastados absorbidos coas partículas. Pola contra, os metais menos volátiles (Cu, Ni, Cr, Va) ficarán máis facilmente retidos no cemento.

As empresas cementeiras poñen de manifesto a existencia de procesos de adsorción e absorción de contaminantes pola mestura reaccionante. Isto é o que explica as baixas emisións de dióxidos de enxofre e ácido clorhídrico, así como dalgúns metais. Sen embargo, a elevadas temperaturas e en relación cos compostos orgánicos, o que cabe esperar son máis ben fenómenos de desorción. Igualmente, o feito de tratar-se dun medio alcalino garante a absorción de gases ácidos e metais ácidos, pero non necesariamente a daqueles metais que se comportan como anfóteros.

Outra das medidas correctoras consiste en garantir a calidade ou composición dos residuos a co-incinerar. A presenza entre o caucho de componentes ou de materiais orgánicos haloxenados é algo que pode ocorrer con moita probabilidade. Os elastómeros haloxenados están moi presentes en determinados componentes dos vehículos, en cauchos en contacto con combustíbeis e outros líquidos, e nos illantes eléctricos. Coa nova normativa derivada da Directiva comunitaria sobre automóbeis fora de uso, pneumáticos e outros elastómeros e plásticos serán recuperados e xestionados conxuntamente. A presenza de materiais ou componentes haloxenados no combustíbel incrementaría enormemente a xeración de dioxinas e furanos, creando un risco que debe ser prevenido en todo momento.

Non podemos descartar a existencia de pó de pneumático acompañando ao troceado, polo que a descarga dos camiões e todas as operacións co troceado antes de entrar ao forno debe-se facer en áreas estancas e en depresión, para evitar a dispersión de partículas con incidencia laboral ou ambiental. Ha de ter-se en conta que se trata de partículas non fisiolóxicas, senon de natureza química e moitas son tóxicas. Esta presenza de pó pode variar en función da técnica de troceado.

Existen, por tanto, alternativas técnicas que poden reducir os riscos de emisión e substancias contaminantes. As de maior eficacia están relacionada co tratamento previo a que se sometan os pneumáticos e coas características da instalación cementeira, pois o emprego de pó crioxénico de pneumático e a súa alimentación pola zona intermedia do forno reducirían notabelmente as emisións de compostos orgánicos volátiles e substancias cíclicas e policíclicas tóxicas. As outras medidas correctoras mencionadas máis arriba: queimador auxiliar, ausencia de compostos haloxenados, sistemas de depuración adecuados, etc, tamén contribuirían a reducir o impacto.

Sen dúbida, a necesidade de solucionar o problema dos pneumáticos usados deperta a solidariedade con calquera iniciativa que se propoña ao respecto. Sen embargo, a existencia de alternativas técnicas máis adecuadas debe levar-nos a non ser permisivos con unha opción na que se den evidentes riscos. A combustión de pneumáticos sempre encerra riscos ambientais, polo que non debemos perder de vista que existen outras moitas alternativas de reciclaxe e aproveitamento dos pneumáticos para diferentes usos, cuxo risco ambiental se ten avaliado como nulo.

### **Aspectos económicos**

Unha análise custo-beneficio non apoia a realización dunha actividade deste tipo, pois os únicos beneficios que se derivan da mesma son de tipo privado da empresa, no caso de existiren, sendo nulos para as comunidades locais. Non cabe, por tanto, considerar a actividade como un elemento dinamizador da economía.

Por outra banda, os fornos que poden empregar pneumáticos enteiros obterían beneficios económicos ao substituír o combustíbel convencional, mentres que o custo de trituración ou troceado fai duvidosa a rendibilidade económica do uso de pneumáticos troceados como combustíbel, xa que é necesario amortizar as diversas modificacións en planta e as probas para a obtención de permisos, e sumar a isto un alto custo de trituración. Esta razón leva a desbotar o uso de pó crioxénico, aínda que ambientalmente sería a opción recomendábel.

O balanço económico convertirá-se claramente en negativo se se exige da fábrica o cumprimento das novas medidas de control e os límites de emisión fixados na directiva 2000/76/CE. Só cobrando unha alta taxa polo tratamento dos pneumáticos se pode garantir o cumprimento dos límites de emisións e non perder diñeiro con esta actividade. Estes feitos son os que están provocando ese forte incremento da reciclaxe e a reutilización de pneumáticos en toda Europa, ao converter-se estas en alternativas economicamente competitivas e ambientalmente positivas.

### **A imaxe das fábricas de cemento e o medio ambiente**

As fábricas de cemento tiveron un pasado de forte incidencia ambiental, que só se foi corrixendo ultimamente grácias ás maiores exixencias de traballadores e cidadáns. As emisións de partículas en numerosas ocasións ten superado os límites legais, chegando a formar-se verdadeiros mantos de cemento depositado nos terreos e vexetación do contorno, en vivendas e vehículos, etc. En xeral, o tipo de partículas era de tamaño grande, polo que se depositaban preferentemente nas inmediacións das fábricas. Aínda que as partículas grandes non entrañan tantos riscos sanitarios como as pequenas, cando se forman contaminantes orgánicos estes tenden a absorber-se sobre as partículas, polo que estas actúan como transporte de contaminantes.

A diversificación de contaminantes, coa a emisión de novos contaminantes que antes non existían, e os efectos sinérxicos de uns e outros cando se emiten conxuntamente, poden levar a que a co-incineración de residuos incremente fortemente o impacto ambiental dunha cementeira, incluso cando se manteñan niveis baixos de partículas como os acadados nos últimos anos.

## **6. O PROXECTO DE CO-INCINERACIÓN DE PNEUMÁTICOS DA EMPRESA COSMOS**

A fábrica de Oural da empresa Cementos Cosmos, situada a 9 km de Sárria en dirección Monforte de Lemos, dedica-se a fabricación de cementos tipo Portland desde o ano 1962. A capacidade de produción foi-se incrementando tras diversas ampliacións, para acadar en 1995 unhas 1.100 t/día de Clinker e 1.400 t/día de cemento, produción que se mantivo en anos posteriores. En 1985 instaláron-se novas equipas de depuración de gases, conseguindo unha redución das emisións de partículas superior ao 50%. Segundo se describe no estudo de efectos ambientais (EEA), moitas das modificacións posteriores terían lugar por razóns de tipo ambiental, co obxectivo de controlar ou reducir as emisións.

### **Algunhas consideracións xerais sobre o Estudo de Efeitos Ambientais (EEA)**

No propio EEA se realiza unha análise de diferentes alternativas de xestión, que se ben recolle unha maioría das existentes, sen embargo non está actualizada en canto ao seu potencial. Así, algúns dos destinos calificados como de baixa capacidade de consumo teñen-se desenrolado fortemente nos últimos anos, e en particular o uso de caucho triturado na fabricación de novos produtos. Así, no promedio da Unión Europea, entre 1992 e 1998 as cantidades en peso de pneumáticos destinados á reciclaxe material multiplicou-se por 4,4 mentres que as cantidades destinadas a valorización enerxética non se chegaron a duplicar (factor de incremento do 1,7).

Por outra banda, cando se fai referencia ás vataxes derivadas da co-incineración de pneumáticos en fábricas cimenteiras, consideramos que algunhas delas non se ateen á realidade ou non son correctamente valoradas. Así, ademais da función combustíbel, indícase o efecto beneficioso da presenza de ferro no pneumático, pero evita-se indicar que con esta medida impide-se a posibilidade de reciclaxe dun material como o aceiro contido nos pneumáticos, que representa un uso de alto valor, especialmente desde o obxectivo da redución do consumo de materias primas nos procesos industriais a través da reciclaxe e a reconversión dos procesos lineais de produción en procesos cíclicos.

Do mesmo xeito, non podemos considerar válida a afirmación de que os compostos orgánicos sexan destruídos totalmente, pois non todos os gases permanecen no forno un tempo superior a 2 segundos (isto si é certo para os gases que entran desde o extremo inferior do forno), senon que moitos gases son formados a partir da alimentación de pneumáticos inmediatamente que son alimentados e abandonan o forno ou nin siquera chegan a entrar no forno. Estes últimos, son se dúbida os gases máis preocupantes desde o punto de vista ambiental, como se explicará máis adiante neste documento.

A presenza de altas cantidades de monóxido de carbono (CO), carbono orgánico total (COT) e compostos orgánicos volátiles (COV), que en base a información dispoñíbel aumentan cando se coinciden residuos, é outro feito constatábel que bota por terra a mencionada afirmación. En probas de combustión durante a co-incineración de residuos, recentemente realizadas no País Vasco (xaneiro de 2001) demostrou-se que diferentes emisións se atopaban por riba dos valores fixados na directiva 2000/76/CE.

En canto a repetida afirmación de aforro de combustíbel, do que realmente se trata é da substitución dun resíduo industrial, ou coque de petróleo, por outro resíduo, os pneumáticos,



ambos de orixen fósil. Non se pode por tanto argumentar aforro de combustíbeis fósiles. Nas cementeiras non se emprega gas natural, senon que o combustíbel auxiliar é fuel óleo, e que, ao contrario do que se dá a entender no EEA, non pode ser substituído por residuos.

A respecto da relación de lexislación aplicábel que se menciona no EEA, parágrafo 1.5, existen significativas ausencias, nomeadamente a Resolución do Consello de 24 de febreiro de 1997 relativa a unha *Estratexia Comunitaria para a Xestión de Residuos*, a Lei básica de residuos de 1998, e a Directiva 96/62/CE do Consello, de 27 de setembro de 1996, sobre a avaliación e xestión da calidade do ar ambiente, todas elas en vigor con suficiente anterioridade á data de presentación do EEA (marzo de 2000). É significativo, neste mesmo sentido, que non se faga ningunha mención aos entón coñecidos borradores da Directiva 2000/76/CE que regula a co-incineración de residuos, e que sería aprobada antes de que o proxecto se levara a cabo.

### **Deficiencias da documentación dispoñíbel sobre o proceso produtivo e as modificacións a realizar**

O proceso produtivo describe-se no Estudo de Efectos Ambientais (EEA), elaborado con data de marzo de 2000, e completa-se co documento denominado “*Anexo al Proyecto Técnico de Alimentación de neumáticos troceados como combustible alternativo para un horno de clinker*”, presentado con data 21 de decembro de 2001. Este último documento foi requerido polo Concello unha vez que desde diferentes ámbitos se puxo de manifesto as deficiencias que presentaba a información contida no EEA, deficiencias que dificultaban o entendimento completo do proceso e a comprensión das afeccións ambientais que do mesmo se poderían derivar.

Consideramos que o Anexo recentemente presentado non clarifica suficientemente estes aspectos do proceso produtivo, pois os gráficos relativos ao proceso que se presentan no Anexo son gráficos correspondentes a unha “fábrica de cemento en xeral” (ver figura 1, páxina 3 do Anexo) e mesmo o valor do tempo de permanencia dos gases no intercambiador é un “dato bibliográfico” (páxina 10), polo que non é posible que saibamos que parte da información que se dá neste Anexo é aplicábel a este proceso e que parte non. Outras informacións como as características dos gases antes e despois do cambio ao uso de pneumáticos (páxina 11) non están en absoluto fundamentadas en datos reais. Por outra banda, o Anexo tampouco aclara unha dúbida importante: en que punto do cambiador se introducen os pneumáticos troceados?, aspecto trascendental para avaliar o risco de emisións contaminantes.

Non existe na documentación un balanço de masas sobre un diagra de fluxo claro do proceso. A súa dispoñibilidade é unha ferramenta imprescindible para a avaliación técnica do mesmo e para facilitar a comprensión dos diferentes aspectos que teñen lugar. Neste balanço de masas debe-se prestar atención a todo tipo de contaminantes que sexan significativos. En particular é importante coñecer os camiños que seguen os gases nos últimos tramos do forno e posteriormente durante o seu proceso de enfriamento, e as características dos mesmos: T<sup>a</sup>, oxíxeno, humidade, concentración de pó en suspensión, etc.

Por todo isto, coa información dispoñíbel, intentamos a continuación recompoñer dunha forma entendíbel o proceso industrial, centrando-nos nos aspectos do mesmo que se poden ver mais directamente afectados pola introdución de penumáticos.

## Descrición do proceso

Para a fabricación do cru, as materias primas (xeralmente 84% caliza, 14.2% pizarra e 1.8% corrector férrico) conducen-se aos alimentadores dos moíños, previstos con dobre cerre para evitar a entrada de ar parásito.

En cada un dos moíños (dous) introducen-se gases procedentes do forno a unha temperatura de aproximadamente 300-350 °C, que realizarán o secado e transporte de materia prima. Os gases dos moíños van a un separador estático (no que se retiran os grosos, que se devolven aos moíños) e despois ao sistema de ciclóns, nos que se retén o chamado cru, pasando por último polo electrofiltro do forno. O cru envia-se aos silos de homoxeneización e almacenamento, e de aquí ao tanque de alimentación ao forno. Os silos e o tanque (bunker) desairean-se e o ar extraído pasa por un filtro de mangas de catro cámaras e despois á cheminea 16.

A continuación, o cru envia-se a sección de clinkerización, que ten por obxectivo a formación de silicatos cálcicos. Primeiramente envia-se ao intercambiador de catro etapas, a superior (primeira) constituída por dous ciclóns e as outras por un. O intercambiador pon en contacto o cru cos gases procedentes do forno, e ademais está provisto dun precalcinador (Pyroclón) no que se produce a descarbonatación do cru. O cru separa-se nun último ciclón (o inferior) e alimenta-se ao forno, no que entra a 850 °C, mentres que os gases ascenden de novo polo intercambiador.

O precalcinador pyroclón é basicamente un conduto de 30 m de lonxitude no que se inxecta carbón pulverizado que arde sen producir chama, ao estar en contacto cos gases procedentes do forno. Para isto aporta-se o chamado ar terciário, procedente do enfriador a uns 700-1000 °C.

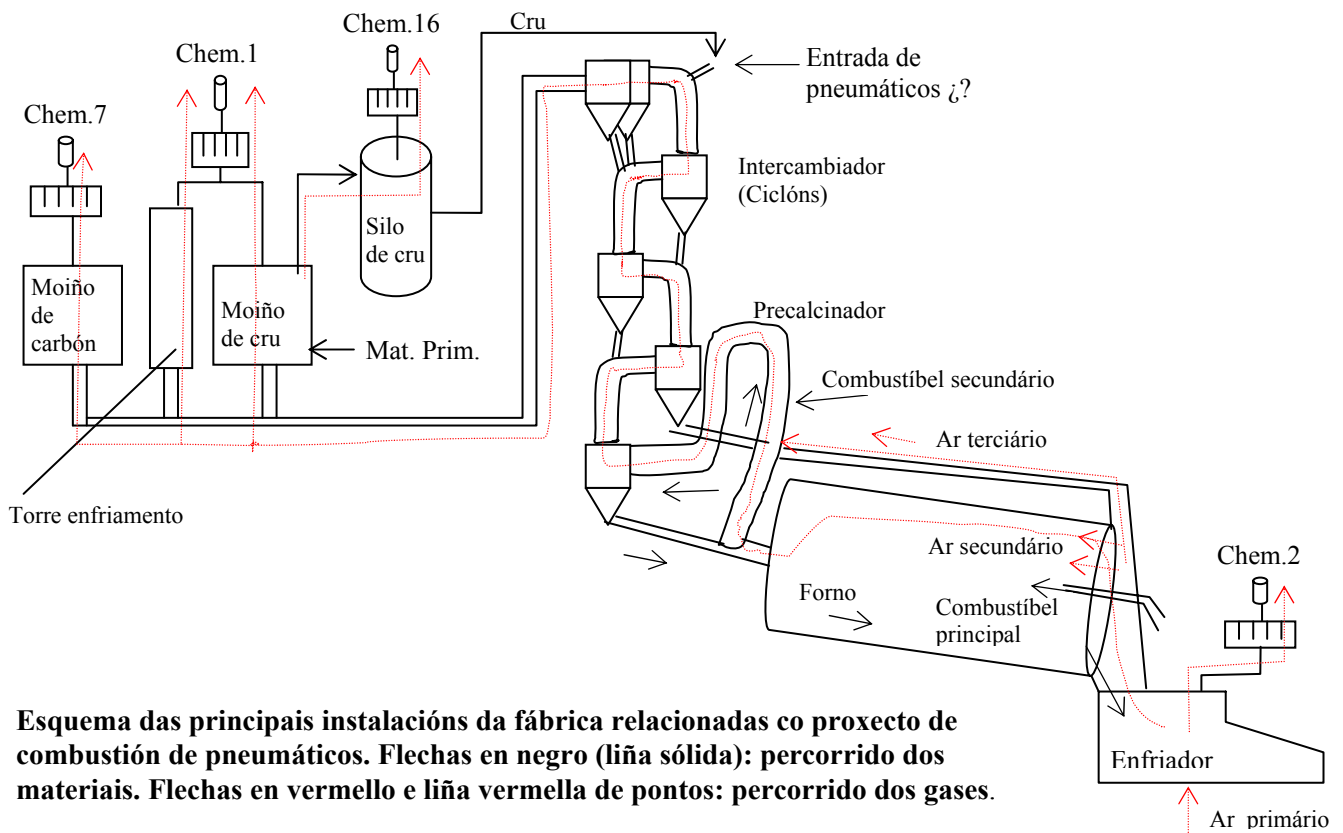
O forno xiratorio é un cilindro de 46 m de lonxitude e 3,4 m de diámetro. No seu extremo inferior sitúa-se o queimador, onde se atinxen as temperaturas de aproximadamente uns 1450 °C, se ben varían desde uns 1050°C no extremo de entrada do cru (ou saída dos gases) até 2000 °C no extremo de saída do cru (ou entrada do ar secundário e do combustíbel). Desde este extremo, o clinker cae ao enfriador, provisto de cinco cámaras de aireación (alimentadas con ar primário), onde se enfria até 60 °C, e posteriormente se transporta até o almacén de clinker.

Se nos fixamos no camiño percorrido polo ar e os gases, este é o seguinte. O ar entra ao enfriador de clinker como ar primário, do que sae a uns 900°C (rango de 700 a 1000 °C), denominando-se entón ar secundário. Unha parte do ar secundário entra ao forno polo extremo inferior, xuntamente co combustíbel habitual (carbón ou fuel oléo), circulando en sentido ascendente e en contracorrente co material en clinkerización, e á saída do forno pasa ao precalcinador, no que se lle suma outra corrente de ar (ar terciário) procedente directamente do enfriador. Desde o precalcinador ascende polo sistema de ciclóns do intercambiador, onde se vai enfriando desde 850 até os 300 °C, pasando a continuación unha parte ao moíño de cru, outra aos moíños de carbón e unha última parte a torre de enfriamento. Os gases procedentes do moíño de cru e da torre de enfriamento pasan ao electrofiltro do forno, evacuando-se despois á atmosfera pola cheminea nº 1. Por outra banda, os gases que foron ao moíño de carbón arrastan o carbón moido até un ciclón no que se separa, e pasan a un filtro de mangas para evacua-los despois á atmosfera pola cheminea nº 7.

O ar primário en exceso que non é empregado como ar secundário ou terciário pasa ao electrofiltro do enfriador e posteriormente á cheminea nº 2. A cantidade de ar primário que se aporta é a mínima para conseguir unha combustión completa.

Pola cheminea 16 saen gases da desaireación dos silos e o tanque (bunker), polo que tamén conterán partículas dos gases procedentes do forno e do intercambiador.

Na táboa da páxina 70 relacionan-se os diferentes focos de emisión a atmosfera, e di-se que os gases de combustión só se emiten pola cheminea nº 1, o que non é riguroso, pois o foco nº 7 tamén emite gases de combustión, e o nº 16 emite gases que poden conter unha fracción de gases de combustión e partículas procedentes da desintegración dos pneumáticos.



**Esquema das principais instalacións da fábrica relacionadas co proxecto de combustión de pneumáticos. Flechas en negro (liña sólida): percorrido dos materiais. Flechas en vermello e liña vermella de puntos: percorrido dos gases.**

### Alimentación de pneumáticos

En primeiro lugar, no EEA analízanse as dúas alternativas, existentes: a) alimentación de pneumáticos enteiros, b) alimentación de pneumáticos troceados. Descarta-se a primeira por razóns técnico-operativas e de custo económico e opta-se por alimentar pneumáticos troceados con un tamaño de 15x15 cm aproximadamente.

Descarta-se a utilización de pneumáticos enteiros porque suporía a entrada de demasiado ar falso. Pero a solución acordada continua a aportar ar falso ao forno (30% do que tería lugar con pneumáticos enteiros, segundo o propio EEA) polo que continuarán existindo interferencias no controle do proceso. Debería-se aportar información sobre as afeccións que esta entrada de ar falso pode causar na composición das emisións e no controle do proceso.

Por outra banda, non se analisan diferentes opcións, polo que respecta ao tamaño dos trozos nen a posibilidade de alimentar pó de pneumático, optido por trituración e moido ou por métodos crioxénicos. Ademais das consideracións técnico-operativas e económicas, deberíanse ter en conta consideracións de tipo ambiental, xa que o tamaño dos trozos de pneumático vai influir claramente sobre as emisións contaminantes.

Como se dixo noutra parte dese documento, a experiencia existente indica que a mellor opción é o uso de pó crioxénico. No caso de pneumáticos troceados, as alteracións no proceso serán menores canto menor sexa o tamaño dos trozos, recomendando-se tamaños que poden ir de 5x5 cm até 10x10 cm, pero considerando como mais convenientes tamaños de 2,5x2,5 cm. A opción de Oural é de trozos de 15x15 cm, sen dúbida mais baratos de obter, pero con maiores problemas de manexo, alteracións do proceso por tendencia a creación de puntos quentes, e afeccións ambientais.

Os pneumáticos dosifican-se e mediante unha cinta transportadora conducen-se até o intercambiador, no que se introducirán a través dunha triple clapeta. Asimesmo, co obxecto de protexer do calor a cinta transportadora, montará-se unha válvula ataxadeira entre a triple clapeta e a cinta, que se accionará no caso de que se detecte unha temperatura que poida danar a banda da cinta transportadora. Describen-se en detalle diferentes aspectos da obra civil, pero non os detalles da introdución dos pneumáticos no intercambiador, de tal forma que non se sabe en que punto do intercambiador entran. Asimesmo, alén do perigo de aquecemento excesivo da cinta transportadora, tamén existe risco de escape de gases nese punto, aspecto que non é tomado en consideración. O croquis sinóptico sobre o esquema xeral do proceso, ao que se fai referencia na páxina 51, non aparece na memoria.

O primeiro impacto térmico que recibirá a superficie dun trozo de pneumático terá lugar fora do forno nun punto moi próximo ao de saída de gases ao exterior, e as primeiras substancias desprendidas no craqueo dos pneumáticos non chegarían a entrar no forno, e as que se xeran nese extremo do forno, abandonarían-no inmediatamente. Nesta situación, o tempo de permanencia para garantir a combustión resulta claramente insuficiente.

Trata-se dun forno moi corto (46 m de lonxitude, cando polo xeral os fornos cimenteiros teñen lonxitudes que van dos 70 aos 100 m) e sen xunta intermedia, polo que os pneumáticos se alimentan polo extremo de saída de gases, oposto ao queimador do forno, existindo unha evidencia técnica de que se van producir emisións.

No suposto dunha avería dun queimador do forno, producirá-se unha caída brusca da temperatura do forno, orixinando-se unha situación na que o elastómero se descompón en substancias orgánicas cíclicas e policíclicas sen que cheguen a queimar-se. A inercia térmica podería garantir a combustión nas zonas próximas ao queimador, pero non no extremo oposto, e menos aínda no camiño que seguen os pneumáticos desde as comportas de triple exclusiva até o forno.

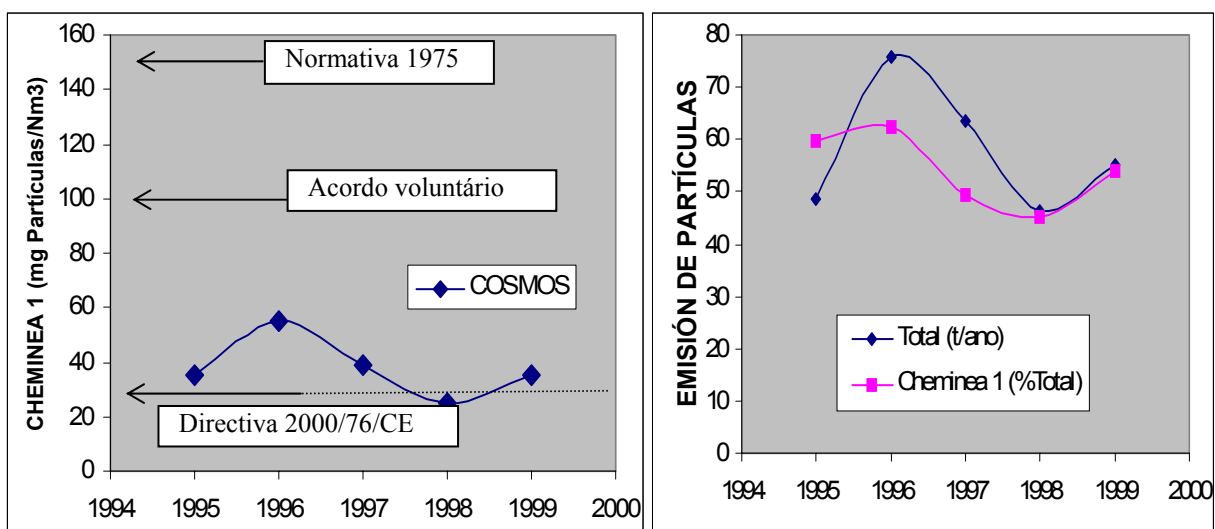
En relación co rexime de utilización, indica-se que o aporte de pneumáticos deberá ser continuo e durante todo o proceso normal do forno, durante cada campaña, as cales teñen unha duración de aproximadamente un ano. Non se prevé dispositivo algún para deter a alimentación de pneumáticos no caso de isto ser encesário.

A capacidade de consumo de pneumáticos de deseño é de 600 kg/h, equivalente a un 10% de substitución enerxética. Sen embargo, preve-se a construción dunha instalación capaz de alimentar 1000 kg/h, case o dobre da de deseño, o que na práctica podería levar a unha porcentaxe de substitución moi superior, e a maiores emisións contaminantes.

En relación coa calidade do material, só se realizará inspección do tamaño dos trozos dos pneumáticos, por simple comprobación dun operario de fábrica, e periodicamente do poder calorífico superior. Non se sabe, por exemplo, se o tratamento previo do pneumático considera ou non un destalonado previo á súa trituración.

### Situación medioambiental actual

Os seguintes gráficos indican as emisións de partículas durante os últimos anos. Podemos ver que a emisión total sitúa-se entre 46.000 e 75.000 kg/ano, das que aproximadamente o 54% corresponden á cheminea nº 1. Por outra banda, as emisións de dióxido de enxofre variaron entre 5.000 e 15.000 kg/ano no mesmo periodo de tempo. O estudo de efectos ambientais (EEA) non aporta datos sobre a emisión de ningún outro contaminante na situación de partida (sen alimentación de pneumáticos), polo que resulta imposible comparar as emisións existentes coas que se producirán na nova situación.



Estes valores de emisión poden-se avaliar por comparación coa lexislación existente e futura. A este respecto, segundo se indica na figura adxunta, as emisións de partículas son moi inferiores ás establecidas pola lei de 1975, aínda hoxe en vigor (150 mg/Nm<sup>3</sup>). Outro tanto ocorre coas emisións de dióxido de enxofre (de 5-15 mg/Nm<sup>3</sup> fronte a 2400 mg/Nm<sup>3</sup>). Por outra banda, no propio estudo se menciona a existencia dun borrador de acordo voluntario, no que estes límites se fixarían en 100 e 600 mg/Nm<sup>3</sup>, respectivamente.

Sen embargo, calquera destas normativas (tanto a lei de 1975 como o chamado acordo voluntario) han de considerarse obsoletas, como se pon de manifesto cando se comparan cos límites previstos pola Directiva 2000/76/CE (ver apartado 5 deste informe). Determinar se a fábrica de Oural cumpre ou non con esta Directiva requiriría información hoxe non dispoñíbel sobre outros moitos contaminantes. Pero atendendo exclusivamente aos datos aportados sobre emisións de SO<sub>2</sub> e partículas, chegamos facilmente á conclusión de que cumpre no relativo ao primeiro, pero non sempre cumpre o límite de emisión de partículas.

Unha analítica posterior de dioxinas e furanos indica a emisión de 0.02 ngET/Nm<sup>3</sup>, pero ao tratar-se dunha única medida puntual, ha de considerarse con muita precaución. Comparado este valor cos datos de emisións de fornos de cementos no Estado español, aportados no referido anexo complementario do proxecto, podemos considerar que estas emisións son comparativamente elevadas. Esta determinación realizou-se na cheminea do filtro do forno, que bota á atmosfera uns 900 millóns de m<sup>3</sup> por ano de fumes. Desta forma, as emisións de dioxinas por esta cheminea atinxen os 0,018 g/ano.

Para termos unha idea aproximada da importancia desta cantidade, é preciso ter en conta que estas substancias presentan unha toxicidade extremadamente elevada. A Estratexia comunitaria sobre dioxinas, furanos e PCBs considera non tolerable unha superior a 2 pg/kg peso corporal e dia. Un picograma é a millonésima parte dunha millonésima parte de gramo (10<sup>-12</sup> g). Facendo cálculos, podemos concluir que estes 0,018 g de dioxinas e furanos emitidos anualmente por Cosmos serían suficientes para superar a dose de inxesta tolerable de 350.000 persoas. Naturalmente, as dioxinas emiten-se á atmosfera, desta pasan aos solos, aos pastos, á auga, e pouco a pouco van-se incorporando na cadea trófica, de tal forma que só unha parte das emisións chegan ás persoas. Pero precisamente, o proxecto non aporta os estudos de distribución e dispersión de contaminantes nunha zona na que os pastos gandeiros son importantes e o sector alimentario está en incremento. O risco potencial non é, desde logo, desdeñable.

Ademais, debemos ter en conta que a cheminea número 1 contribue con só o 50-60% das emisións totais de partículas da planta cimenteira, e que gases que pasaron polo forno tamén se emiten por outros focos, polo que as emisións nestes focos, sobre as que non hai datos, poderían contribuir a incrementar as emisións totais. Por outra banda, como pon de manifesto a Estratexia comunitaria sobre dioxinas, furanos e PCB, moitos destes policlorobifenilos mostran efectos para a saúde tan graves como os das dioxinas e furanos, polo que tamén deberán ser avaliados. A inxesta de contaminantes deste tipo, dioxinas, furanos e relacionados, pode por tanto ser moi elevada na comarca de Oural e Sarria, especialmente entre a poboación que consume con maior frecuencia produtos cárnicos e lácteos da zona.

Se ben é certo que o nivel de emisión indicado por esta medida de dioxinas é inferior á concentración límite fixada na Directiva 2000/76/CE, non se ha de esquecer que as condicións de operación e os límites de emisión fixados nesta directiva son condición necesaria pero non sempre suficiente para o cumprimento dos obxectivos da Directiva de Prevención e Control Integrado da Contaminación (IPPC), que é a directiva 96/61/CE, de 24 de setembro de 1996. A Directiva de incineración indica con claridade (considerando nº 13) que o cumprimento coa directiva IPPC pode implicar a aplicación de límites de emisións máis rigorosos para os contaminantes contemplados na Directiva 2000/76/CE, así como valores límite para outras substancias e para outros medios e outras medidas necesarias”.

Outro aspecto a tomar-mos en consideración é a información dispoñible sobre inmisión de contaminantes (pax. 73-74-75), que deberíamos comparar cos límites fixados na Directiva 1999/30/CE, de 22 de abril de 1999, relativa aos valores límite de dióxido de enxofre, dióxido de nitróxeno, partículas e chumbo no ar ambiente.

No referido ás augas residuais, teñen dúas orixens diferentes: augas pluviais e augas sanitarias. As primeiras proceden da rede de auga contraincendios, da chuvia na zona de proceso e da chuvia que cae sobre tellados de edificios, estradas, etc. As sanitarias

corresponden tanto a rede de auga potábel como ás instalacións sanitárias e aos laboratorios. As augas de laboratorio pasan por un filtro de caliza antes de enviarse ás fosas sépticas xuntamente co resto das augas sanitárias. As augas pluviais conducen-se a balsas de decantación (algunhas aínda en construción) e despois verten-se aos cauces públicos (rio Celeiro), xuntamente coas procedentes das fosas sépticas.

### **Avaliación de impacto contida no estudo de efectos ambientais (EEA)**

O proxecto avalia o impacto sobre a atmosfera como moderado, tomando como base as emisións nunha empresa similar que queimou pneumáticos desde marzo de 1997. Díse que os datos desas emisións se mostran no anexo 2, que sen embargo non aparece recollido na documentación. O impacto sobre a auga non se avalia, ao considerar que na nave de manexo dos pneumáticos non se prevén consumos nen vertidos de auga. Conclúese que o impacto global é compatíbel, ao tempo que elimina o impacto severo da existencia de pneumáticos. Veremos que esta afirmación non está debidamente argumentada na documentación presentada.

Non considera necesaria ningunha medida correctora, xa que os gases da combustión dos pneumáticos quedan englobados dentro dos gases do forno de clinkerización, e xa existen 19 filtros de mangas e 2 filtros electrostáticos para a depuración das emisións. Asimesmo, indícase que os metais pesados se integran no cru para a obtención de clinker, eliminándose na súa práctica totalidade. Estas afirmacións carecen do necesario rigor científico-técnico, pois nen as emisións procedentes do craqueo e combustión dos pneumáticos pasan polos 19 filtros de mangas, nen todos os metais pesados se incorporan por igual ao clinker. É máis, os gases procedentes do forno e do intercambiador non pasan por ningún filtro de mangas, senon só polos electrofiltros, que presentan unha eficacia inferior na retención de partículas, e especialmente dos contaminantes orgánicos.

O programa de vixilancia ambiental prevé medición en contínuo de partículas sólidas e quincenais de dióxido de enxofre, e estipula os límites de emisión establecidos en 1975: 150 e 2.400 mg/Nm<sup>3</sup> de partículas e dióxido de enxofre, respectivamente, sen que se propoña rebaixar este límite. Estes eran os controles que a cementeira veu facendo nos últimos anos, polo que non se propón ningún control de emisións relacionado coa alimentación de pneumáticos.

### **Controle de emisións e afeccións ambientais do novo proceso**

Ante esta situación, é sorprendente que a declaración de efectos ambientais (DEA) permita emisións de 150 e 2400 mg/Nm<sup>3</sup>, é dicir os mesmos valores dos anos 1975-1980. Compre ter en consideración, a este respecto, a Directiva 2000/76/CE. Nesta fíxanse valores de 30 e 50 mg/Nm<sup>3</sup> para partículas e dióxido de enxofre, o que fai máis sorprendentes as estipulacións da declaración de efectos ambientais.

Por outra banda, a lexislación de 1975 permitía unha tolerancia de 1000 mg/Nm<sup>3</sup> de partículas durante corenta e oito horas consecutivas e até 200 horas/ano de funcionamento incorrecto. Pero a nova directiva establece que en ningún caso se superará durante un período de tempo de media hora (valor semihorario) unha emisión de 150 mg/Nm<sup>3</sup> de partículas. No referido a calquera dos parámetros de emisión, limita o tempo de funcionamento anómalo a un máximo de 4 horas continuadas: *se se superan os valores límites de emisión, non poderá en ningún*

*caso seguir incinerando residuos durante un periodo de tempo superior a catro horas.* Ademais, a duración acumulada de funcionamento anómalo non poderá superar as 60 horas anuais.

Asimesmo, a directiva exige que se instalen equipos de medición e se utilicen técnicas adecuadas para o seguimento dos parámetros e condicións de operación e das concentracións de todos os contaminantes regulados. O controle das concentracións de COT é unha medida importante para coñecer as emisións reais de compostos orgánicos non queimados, e debería-se estender a todas as emisións da fábrica.

Os beneficios ambientais da eliminación de pneumáticos podemo-los atribuir a outras áreas onde a maioría deses pneumáticos son xerados, e non tanto a comarca onde se situa a cementeira. Pola contra, a nivel local existen claros riscos de incremento das emisións contaminantes que afectarían negativamente ás poboacións locais. Actualmente existe un auxe das producións forraxeiras ligado a un incremento notábel da cabana porcina e vacuna. A este respecto, son coñecidos os problemas de acumulación de contaminantes procedentes de procesos térmicos na cadea alimentar, coa conseguinte deterioración da calidade dos alimentos producidos. Nalgúns casos de granxas de vacas nas proximidades de incineradoras (Holanda, Francia...), ten-se chegado á retirada do leite e outro produtos pola elevada contaminación por metais pesados e dioxinas.



## 7. BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTACIÓN

1. Estudio de efectos ambientales (EEA) del proyecto de alimentación de neumáticos troceados como combustible alternativo para un horno de clinker en la fábrica de Cementos Cosmos, S.A. (Oural-Sarria-Lugo). Marzo de 2000. Realizado por Calfensa Medioambiente e Cementos Cosmos.
2. Anexo al proyecto técnico de “alimentación de neumáticos troceados como combustible alternativo para un horno de clinker”. Decembro de 2001. Realizado por Cementos Cosmos.
3. Proxecto, alegacións e resolución da solicitude de autorización para a “Combustión de neumáticos troceados como combustible secundario en horno de cemento. Fábrica de Alcanar (Tarragona)”. Mayo de 1999-marzo 2001.
4. Plan de xestión de residuos perigosos e solos contaminados de Galicia, Conselleria de Industria e Comercio, 1995.
5. Plan de xestión de residuos industriais de Galicia, Xunta de Galicia, 2001.
6. Directiva 2000/76/CE do Parlamento Europeo e do Consello, de 4 de decembro de 2000, relativa á incineración de residuos. Diálogo Oficial das Comidades Europeas do 28 de decembro de 2000.
7. Directiva 96/61/CE do Consello, de 24 de setembro de 1996, relativa á prevención e ao control integrado da contaminación. Diálogo Oficial das Comidades Europeas do 10 de outubro de 1996.
8. Estratexia Comunitaria sobre dioxinas, furanos e policlorobifenilos. Comunicación da Comisión ao Consello, ao Parlamento Europeo e ao Comité Económico e Social. Diálogo Oficial das Comidades Europeas do 17 de novembro de 2001.
9. El libro del reciclaje. Alfonso del Val. Integral (3ªed), Barcelona, 1998.
10. Encyclopedia of Chemical Technology. Kirk-Othmer, Vol. 5 (Cement).
11. Manual McGraw-Hill de Reciclaje: Neumáticos. Hebert F. Lund. Madrid, 1996.
12. Estudio de emisión de contaminantes en la atmósfera correspondiente a la empresa Cementos Cosmos, S.A. situada en Oural (Lugo). Informe ECA, 28 de marzo de 2001.
13. Informe Dioxinas e saúde. Asociación ADEGA. Santiago de Compostela, 1999.
14. Seguimiento y prevención de riesgos derivados de la coíncineración en hornos cementeros. Guía sindical ISTAS, Madrid, 2001.
15. Resolución do 30 de xuño de 2000, da Dirección de Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental pola que se formula a Declaración de Efectos Ambientais do proxecto de “Alimentación de neumáticos troceados como combustible alternativo para un horno de clinker”, no concello de Sárria, promovido por Cementos Cosmos, S.A.
16. Coíncineración de residuos: una aproximación al problema. Miquel Crespo i Ramirez. 16 Encuentros Estales de Amantes de la basura, Valladolid, outubro de 2001.