

Co-procesamiento de ARF en Cimpor Brasil.

Cristhiano Baccin de Oliveira. *Environment Manager Cimpor Brazil.*

La acumulación de neumáticos usados de la creciente flota de vehículos demanda a la sociedad un esfuerzo para la recogida, transporte y destino final de estos residuos de una manera ambientalmente adecuada.

La solución más adoptada para el destino de los neumáticos usados es su valorización en los hornos de clínker.

Según los datos de la Asociación Brasileña de Cemento Portland, durante los años 2003 a 2008 se destinaron 690.000 t, equivalente a 138 millones de neumáticos, de vehículos ligeros, para valorizarlos en las plantas de cemento de Brasil.

Cimpor Brasil empezó con la actividad de valorizar neumáticos usados en 2002, y en el año 2006 empezó la valorización de neumáticos enteros en algunas unidades, con hornos sin precalcinador, para ajustarlo a la realidad del mercado y para aumentar la cantidad total, más allá de incrementar la sustitución de calor. Ejemplo: fábrica de Cajati.

1. Grupo Cimpor

Cimpor-Cimentos de Portugal es la mayor empresa portuguesa de cemento y desarrolla su actividad en: Portugal, España, Mozambique, Marruecos, Brasil, Túnez, Egipto, Sudáfrica, Cabo Verde, Turquía, China, Perú e India en las áreas de producción y comercialización de cemento, cal hidráulica, hormigón y agregados, hormigón prefabricado y morteros secos. La capacidad de producción de cemento con clínker propio asciende a 31,1 millones de toneladas por año.

2. Cimpor Brasil

Cimpor está presente en Brasil desde 1997 y actualmente tiene una capacidad de producción de cemento con clínker propio de 5,8 toneladas por año, siendo el tercer productor nacional. Está presente en todo el territorio con 6 fábricas de cemento, 2 plantas de mortero seco y 35 plantas de hormigón.

3. Desarrollo sostenible

El grupo Cimpor, dentro del ámbito del CSI (Cement Sustainability Initiative), del

■ Figura 1. Presencia de Cimpor en el mundo.



■ **Figura 2. Fábricas de cemento de Cimpor Brasil.**



que es socio fundador y bajo la tutela del WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), al que se adhirió en 1997, asumió el compromiso de invertir en una estrategia de ayuda, convirtiéndose en una parte integrante de su misión.

Nuestra adhesión, en 1997, al WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) es parte de la política de asociación que el Grupo prevé desarrollar y tiene como objetivo la identificación de diferentes maneras de progreso y de socios que quieran asumir el mismo grado de cometido en relación al Desarrollo Sostenible, de forma que se creen las interacciones necesarias para la mejora de la actuación global de su negocio.

Iniciado en 1999, el proyecto asignado por CSI constituyó, en una fase inicial, una contribución de los 10 principales grupos mundiales, entre ellos Cimpor, para la aplicación de este concepto relacionado con el sector del cemento.

Aunque todas estas empresas, actualmente dieciocho, han venido desarrollando proyectos en este ámbito durante los últimos años, CSI representa, por primera vez, la suma de esfuerzos en la dirección de afrontar desafíos comunes en el sector y en la sociedad en general.

Después de la ejecución de un programa de investigación independiente y consulta a partes interesadas ("stakeholders"), las empresas relacionadas suscribieron y lanzaron, en julio de 2002, un plan de acción para cinco años de carácter voluntario que llamaron 'Nuestra Agenda será Acción' y que constituye el primer cometido formal de los principales líderes mundiales de esta industria global para la adopción de una política de Desarrollo Sostenible.

'Nuestra Agenda será Acción' identifica seis áreas-clave para el camino del progreso a una sociedad más sostenible, para cuyo tratamiento se constituyeron grupos de trabajo en los que estaban implicados especialistas externos y entidades del sector:

- Protección del clima y gestión de las emisiones de CO₂.
- Uso responsable de combustibles y materias primas.
- Salud y seguridad laboral.
- Monitorización e informe de emisiones.

- Evaluación de impactos ambientales y sociales (ESIA).
- Información y comunicación.

Los proyectos internos y externos y partes relacionados con la formación y extensión del desarrollo sostenible, están basados en un documento de referencia del Grupo Cimpor, ampliamente divulgado en todas las áreas de negocio.

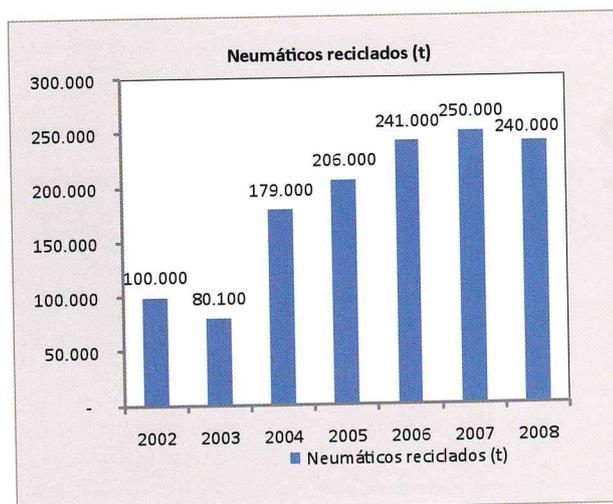
Dentro de las líneas de actuación de 'uso responsable de combustibles y materias primas' se encuentra el proyecto de sustitución de combustibles fósiles y materias primas no renovables, por residuos industriales en la producción del cemento, lo que en Brasil se conoce como 'Valorización de residuos industriales en hornos de clínker'.

4. Destino final de neumáticos usados en Brasil

La responsabilidad ambiental representada por la acumulación de neumáticos usados procedentes del aumento de la flota de vehículos que se produce anualmente, demanda a toda la sociedad un esfuerzo para la recogida, transporte y destino final, de forma ambientalmente adecuada, de dichos residuos. Además de los problemas ambientales, relacionados con la alta resistencia que tienen a la descomposición, el gran volumen que ocupan, el riesgo de incendio debido a su alta capacidad de combustión, la contaminación que causa en la atmósfera, la tierra, las aguas subterráneas y superficiales cuando se queman a cielo abierto, su inadecuada eliminación constituye un riesgo para la salud pública, siendo un vector de enfermedades como el dengue.

En Brasil, el Consejo Nacional de Medio Ambiente, Conama, mediante las Resoluciones 258/99 y 301/02, establecieron la responsabilidad de los fabricantes e importadores de neumáticos, de recoger y dar un destino final ambientalmente adecuado a los neumáticos usados existentes en ámbito doméstico, siendo así desde el 1 de enero de 2005. Por cada cuatro neumáticos

■ **Figura 3. Cantidad total de neumáticos usados reciclados. (Fuente: Arebop).**



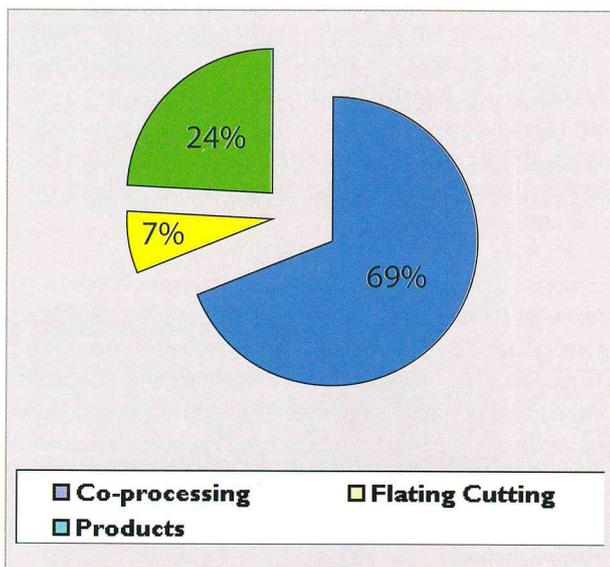
nuevos fabricados o importados, estas compañías deben de dar un destino final a cinco neumáticos usados. Además, fue prohibida la eliminación final en vertederos y la quema a cielo abierto.

La existencia de estas regulaciones permitió que se creara una cadena de reciclado de neumáticos en el país; muchas empresas que trabajaban con otros materiales reciclados han incorporado los neumáticos usados a sus productos. Según los datos de la Asociación Nacional de Compañías de Reciclado de Neumáticos y Dispositivos de Goma (Arebop) en 2007, se destinaron 250.000 toneladas de neumáticos usados, equivalente a 50 millones de neumáticos de vehículos ligeros.

La valorización en hornos de clínker, actividad también regulada por Conama mediante la Resolución 264/99, es la solución más adoptada como destino para los neumáticos usados en Brasil de acuerdo a la Asociación Recicalnip-Agencia Nacional de la Industria de Neumáticos.

■ **Figura 4. Destino de neumáticos usados en Brasil.**

(Fuente: Recicalnip, 2007).



5. Valorización de neumáticos usados en hornos de clínker

Debido al alto poder calorífico y una composición química homogénea, gran cantidad de neumáticos usados pueden ser destruidos en los hornos de clínker sustituyendo a combustibles fósiles como el carbón y el coque de petróleo, utilizados tradicionalmente como fuente de energía en la producción de clínker. En el cuadro siguiente se presenta la comparación de los factores de emisión de CO₂ para algunos combustibles:

Según datos de la Asociación Brasileña de Cemento Portland, en el período 2003-2008 se han destinado 690.000 toneladas, equivalente a 138 millones de neumáticos de vehículos ligeros, para la valorización en plantas de cemento en Brasil. En el año 2008, las plantas de cemento brasileñas valorizaron 166.000 toneladas, equivalentes a más de 32 millones de neumáticos de vehículos ligeros, según ABCP.

La destrucción de los neumáticos en los hornos de clínker se produce de forma completa y segura debido a sus altas temperaturas (>900 °C), alta turbulencia, elevado tiempo de residencia (en torno a 40 minutos), atmósfera oxidante y alcalina, características que atenúan los efectos de las emisiones de gases ácidos y cenizas, puesto que todo el polvo producido durante el proceso de fabricación de clínker se recoge en los equipos de control de emisiones de partículas.

6. Valorización de neumáticos usados en Brasil

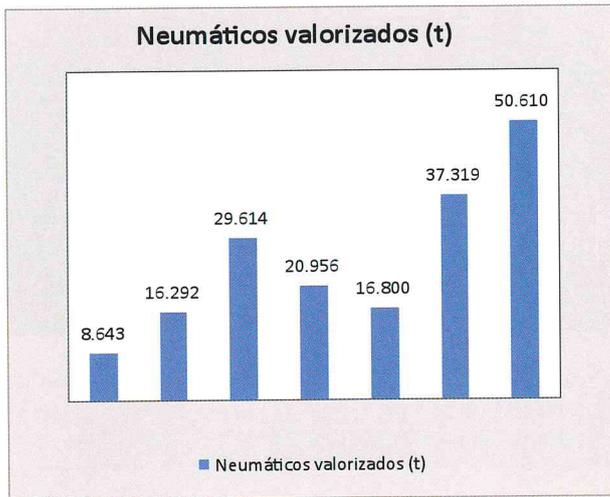
Cimpor Brasil inició la actividad de valorización de neumáticos usados en el año de 2002 mediante un convenio con la Asociación Nacional de la Industria de Neumáticos (Anip), que preveía la instalación de dos unidades de trituración de neumáticos para usar en los hornos de Cimpor instalados en el país. El primer paso fue la valorización de neumáticos troceados, debido a los altos costes de transporte de los neumáticos enteros y a un mejor rendimiento en la combustión, permitiendo un mejor aprovechamiento que en el caso de los neumáticos enteros.

En 2006 Cimpor inició la valorización de neumáticos enteros en algunas unidades con hornos sin precalcinador, para ajustarse a la realidad del mercado de valorización y aumentar la cantidad

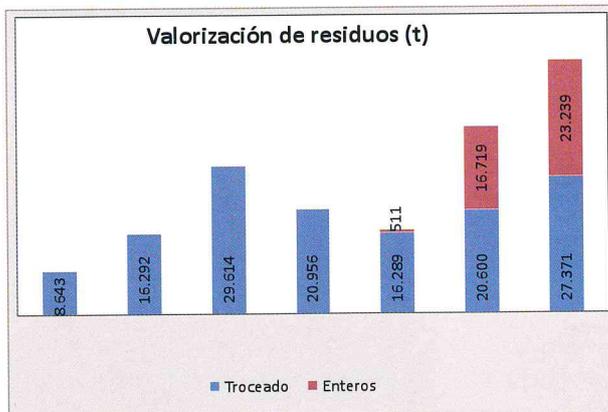
■ **Tabla 1. Poder calorífico y factor de emisión de CO₂ de algunos combustibles.** (Fuente: WBCSD, 2005).

Tipo de combustible	Poder calorífico (GJ/ton)	Factor de emisión	
		kg CO ₂ /ton	kg CO ₂ /GJ
Neumáticos	32,0	2,72	85
Carbón	27,0	2,43	90
Coque de petróleo	32,4	3,24	100
Aceite mineral	46,0	3,22	70
Gas natural	39,0	1,99	51
Madera	10,2	1,12	100

■ **Figura 5. Neumáticos valorizados en Cimpor Brasil.**



■ **Figura 6. Neumáticos enteros y troceados valorizados en Cimpor Brasil.**



total, más allá de incrementar la sustitución de calor. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6.

6.1 Neumáticos troceados vs neumáticos enteros

La decisión de iniciar la valorización de neumáticos enteros o troceados se basó en diversos factores, entre ellos: la disponibilidad de un mercado de generación cercano a la fábrica de cemento (tipo y cantidad de neumáticos), la existencia de otras alternativas de destino, el costo de la trituración, el costo del traslado interno del neumático entero, el tipo de horno (intercambiador o precalcinador) y la capacidad de destrucción del horno.

Si tenemos en cuenta el principal objetivo de la utilización de combustibles alternativos, con una mayor sustitución de combustibles fósiles, por lo general nos encontramos con la siguiente situación:

- Hornos con precalcinador: pueden alcanzar en torno a un 20% de sustitución de calor cuando valorizan neumáticos triturados.

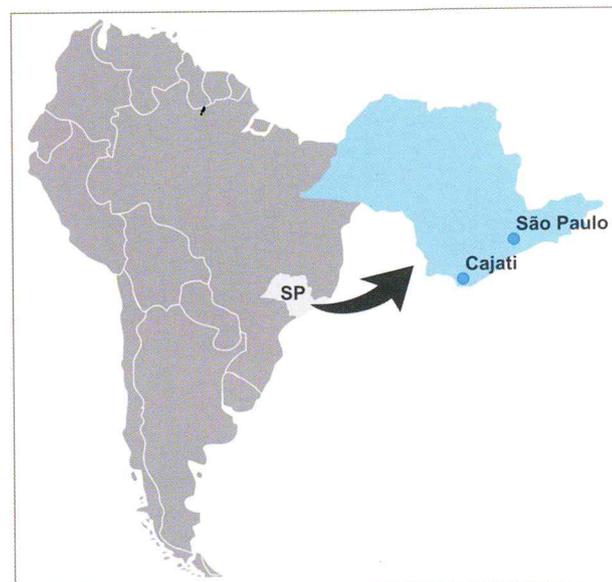
- Hornos con intercambiador: pueden alcanzar en torno a un 20% de sustitución de calor cuando valorizan neumáticos enteros.

Otro aspecto a considerar es la inversión necesaria para la alimentación de neumáticos usados en los hornos de clinker: la instalación para neumáticos enteros sólo puede ser usada para alimentar neumáticos enteros, mientras que la instalación de alimentación de neumáticos troceados puede ser utilizada para otros combustibles alternativos.

7. Valorización de neumáticos usados en la fábrica de Cajati

La ciudad de Cajati está situada a 230 km de São Paulo, tal y como se muestra en la Figura 7.

■ **Figura 7. Situación de Cajati.**



La planta inició su actividad en 1972 con una capacidad de producción de 600.000 t de cemento. En 1997, Cimpor adquirió esta unidad perteneciente al Grupo Bunge y después de algunas mejoras, opera actualmente con una capacidad de producción de 1.300.000 t de cemento.

La planta está situada dentro de un complejo industrial de producción de piensos animales, fertilizantes y ácido fosfórico. La caliza utilizada en la producción de cemento se genera durante el proceso de flotación de la apatita. Por otra parte, durante la producción de ácido fosfórico se generan grandes volúmenes de yeso que se utiliza como regulador de fraguado en la fabricación de cemento.

El primer informe ambiental para obtener permiso para la valorización de residuos en Cajati, se llevó a cabo en 1997 y el primer permiso para valorizar los neumáticos triturados fue emitido en el año 2002. En 2006 se llevó a cabo, de nuevo,

■ Figura 8. Planta de cemento de Cajati. Principales equipos.

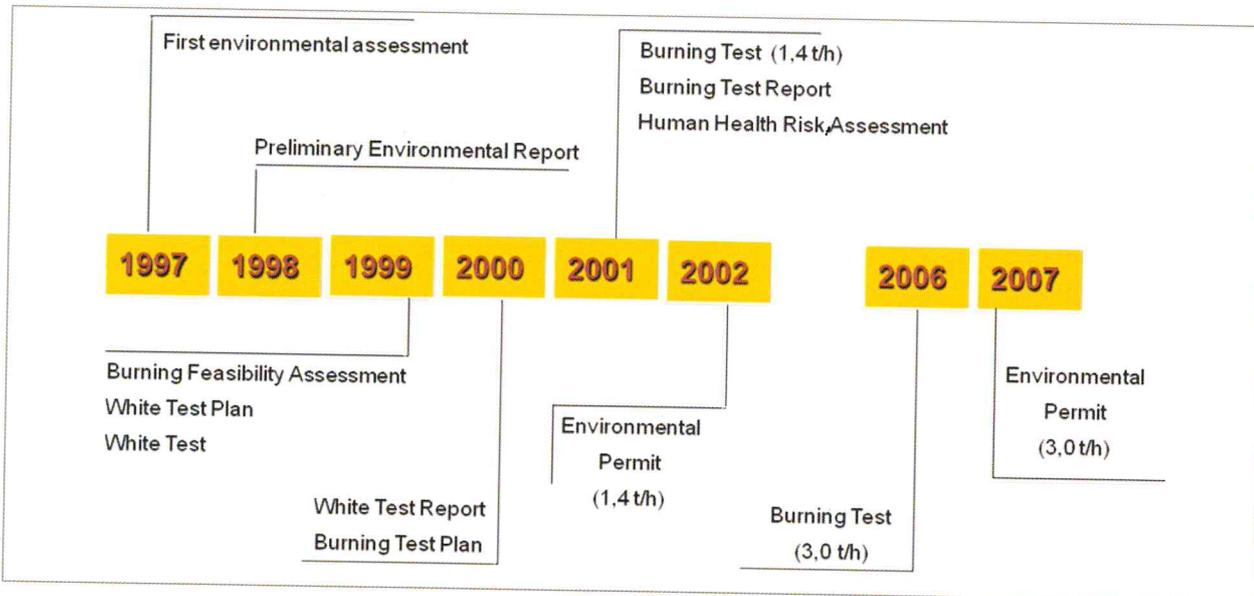
⇒ RAW MILL KHD	
• DIMENSIONS (m):	3,4 X 6,6
• PRODUCTION:	135 t/h
⇒ PREHEATER	
• 2 STRINGS 4 STAGES PREHEATER TOWER	
• RSP PRECALCINER	
⇒ ROTARY KILN	
• DIMENSIONS (m):	4,2 X 55,0
• NOMINAL PRODUCTION:	2900 t/d
• REAL PRODUCTION:	1900 t/d
• ⇒ LIMITANT FACTOR:	RAWMILL PRODUCTION

■ Figura 9. Parque industrial de Cajati (Fuente: Cimpor Cajati).

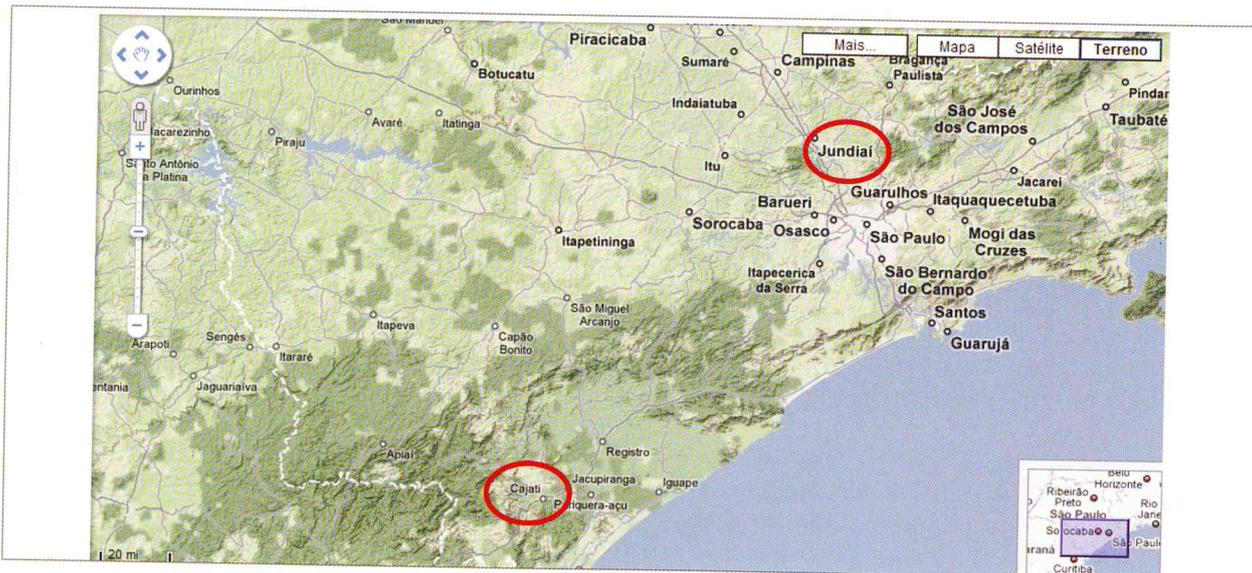


una prueba de quema para incrementar la tasa de alimentación a 3,0 toneladas por hora, incluyendo la alimentación de neumáticos enteros.

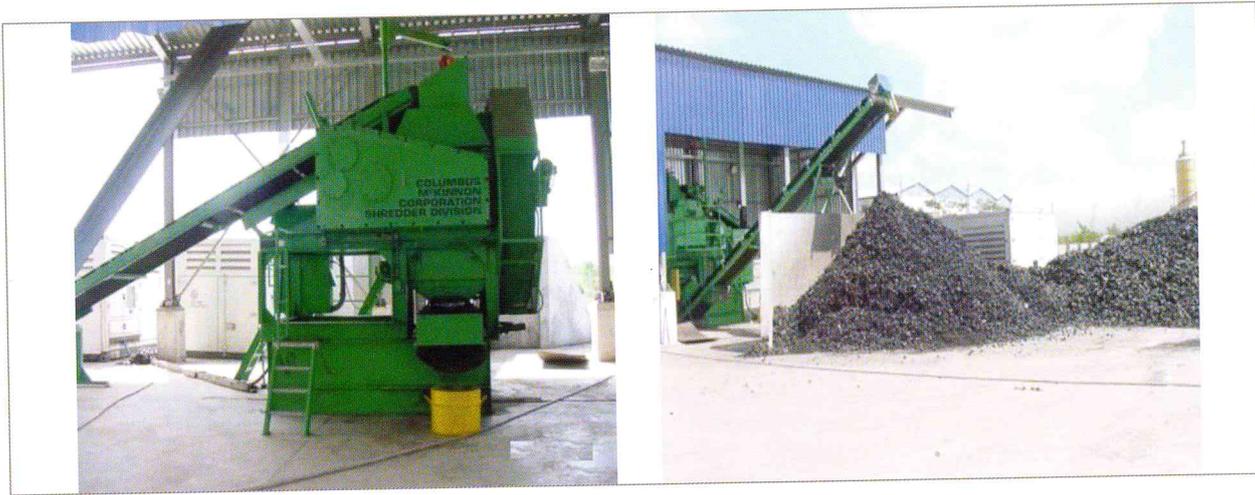
■ Figura 10. Proceso de licencias ambientales.



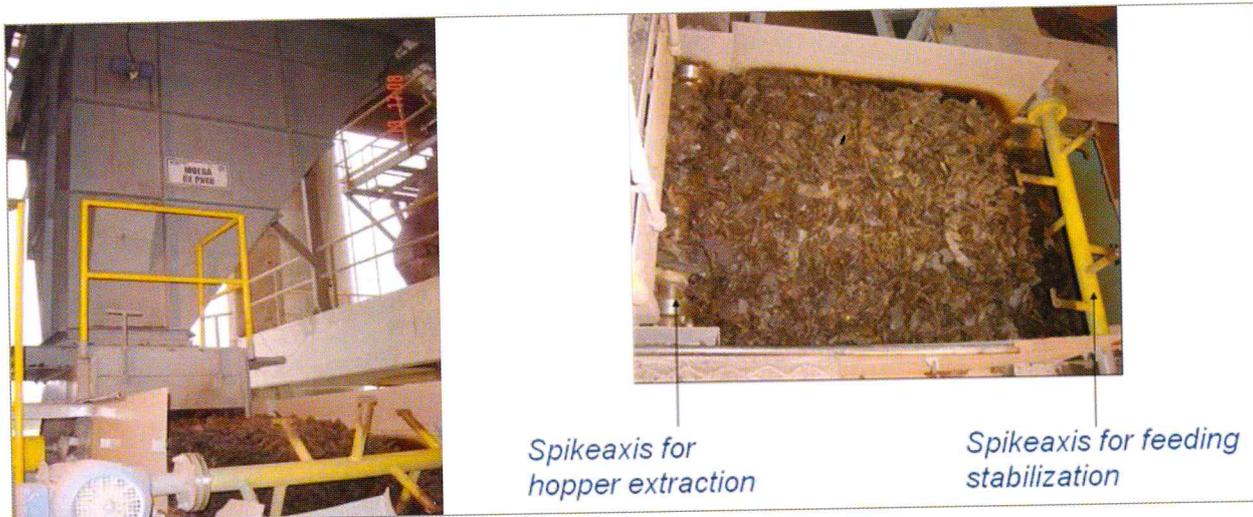
■ Figura 11. Localización de Cajati y Jundiaí. (Fuente: <http://maps.google.com>).



■ Figura 12. Instalaciones de trituración de neumáticos en Jundiaí.



■ Figura 13. Detalles de tolva de neumáticos troceados y báscula de alimentación.



La Figura 10 muestra la secuencia en el tiempo del proceso de concesión de licencias ambientales para la autorización de la valorización de neumáticos.

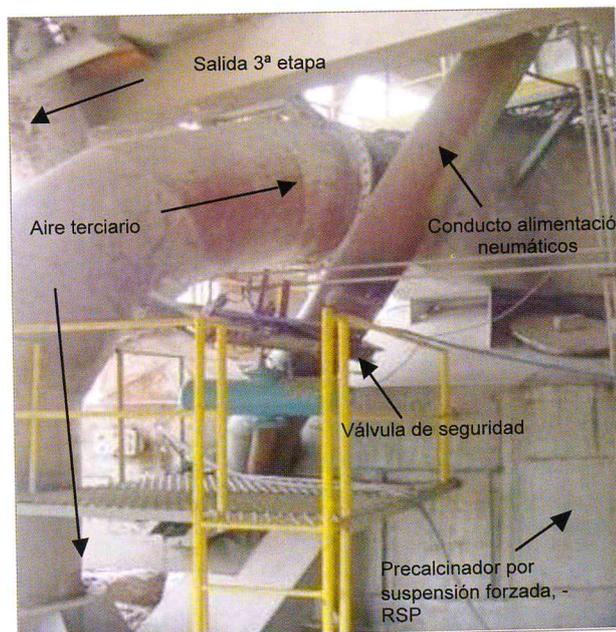
Para garantizar la cantidad de neumáticos troceados en Cajati, Cimpor invirtió en la planta de trituración en la ciudad de Jundiaí, a 250 km de la planta de Cajati. Los neumáticos usados son enviados por la Asociación Nacional de la Industria de Neumáticos (Anip) a esta unidad para la trituración y posterior transporte en camiones hasta la planta de Cajati.

El equipo de trituración fue fabricado en Estados Unidos por la compañía Columbus McKinnon y opera con 8 t/h para neumáticos de camión y 12 t/h para neumáticos de vehículos ligeros y neumáticos troceados, alcanzando una dimensión máxima de 2 pulgadas.

En la planta de Cajati se construyó una instalación destinada a alimentar los neumáticos troceados en el precalcinador.

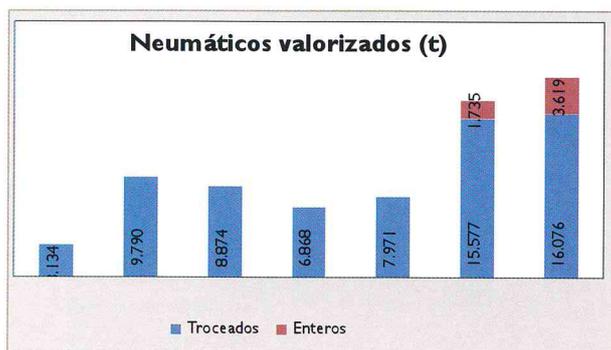
La Figura 15 muestra la cantidad total de neumáticos valorizados desde el inicio de funcionamiento y el impacto del aumen-

■ Figura 14. Detalles del punto de alimentación de neumáticos.





■ **Figura 15. Neumáticos valorizados en la planta de cemento de Cajati.**



to en el porcentaje de utilización permitido mediante la licencia de actividad emitida por la Agencia Ambiental del Estado de São Paulo a comienzos del año 2007.

La Resolución Conama 264/99 y el procedimiento P4.263/03 de la Agencia Ambiental del Estado de São Paulo exige la realización de muestreos de chimenea para asegurar el cumplimiento de los límites de emisión de contaminantes. Además, dispone de monitorización en continuo para emisiones de partículas, óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre totales (SO_x), hidrocarburos totales (THC) y monóxido de carbono.

En 2008 la Universidad de São Paulo llevó a cabo un estudio para determinar la influencia de la valorización de neumáticos en la calidad del clínker. Para ello, se compararon clínkeres producidos en tres situaciones.

■ **Tabla 2. Emisiones atmosféricas. (Fuente: Cimpor Cajati).**

Contaminantes	Unidades	% O_2	WT Oct/99	BT Abr/01	BT Mar/08	Valores límite	
						P4.263/03	264/99
Partículas	mg/Nm ³	11,0	40	38	39	70	70
SO_x	mg/Nm ³	11,0	118	63	2	318	-
NO_x	mg/Nm ³	11,0	921	304	240	727	-
Grupo 1 *	mg/Nm ³	7,0	0,14	0,16	0,003	1,27	1,40
Grupo 2 **	mg/Nm ³	7,0	0,27	0,46	0,12	6,36	7,0
Cadmio (Cd)	mg/Nm ³	7,0	0,00007	0,00034	0,00054	-	0,10
Talio (Tl)	mg/Nm ³	7,0	0,00012	0,00014	0,00023	-	0,10
Cd + Tl	mg/Nm ³	7,0	0,00019	0,00048	0,00077	0,064	-
Plomo (Pb)	mg/Nm ³	7,0	0,01220	0,01539	0,0056	0,35	0,35

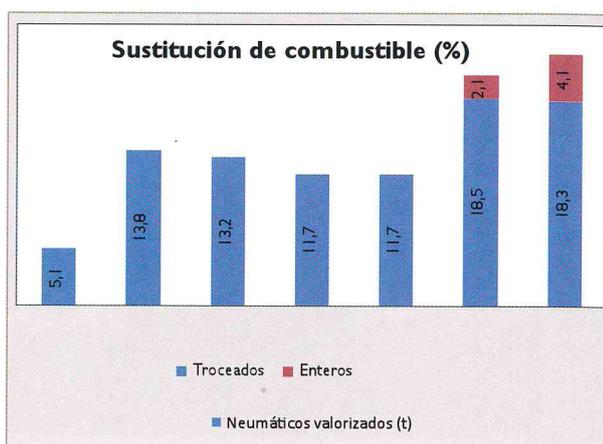
* (As+Be+Co+Ni+Se+Te).

** (As+ Be+Co+Cr+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn).

■ **Tabla 3. Balance de masa promedio. (Fuente: Santos, 2008).**

Situación	Entradas (t/h)			Salidas (t/h)
	Materia prima	Neumáticos	Coque de petróleo	Clínker
Valorización de neumáticos enteros y troceados	135,84	3,0 (2,3+0,7)	6,50	89,96
Valorización de neumáticos troceados	137,70	3,0	7,15	91,19
Sin valorización	134,63	-	9,05	89,16

■ **Figura 16. Sustitución de combustibles en la planta de cemento de Cajati.**



En este sentido, el clínker fue analizado para estudiar el comportamiento de los elementos químicos incorporados, y para identificar posibles variaciones estructurales, realizando análisis químicos semi-cuantitativos mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (Método Rietveld) y Microscopía óptica (Modal). La Tabla 4 presenta una comparación de cuantificación de las fases por los distintos métodos.

Los análisis de cuantificación de las fases mediante microscopía y mediante el Método de Rietveld han presentado resultados similares, con la excepción de las fases C_3S y MgO . A pesar de la diferencia entre las cantidades de C_3S , la relación $\text{C}_3\text{S}/\text{C}_2\text{S}$ en los dos métodos es muy similar (Santos, 2008).

Para definir el grado de incorporación de elementos minoritarios a la estructura cristalina del clínker, se realizaron análisis en disolución de los clínkeres producidos en cada situación.

8. Conclusiones

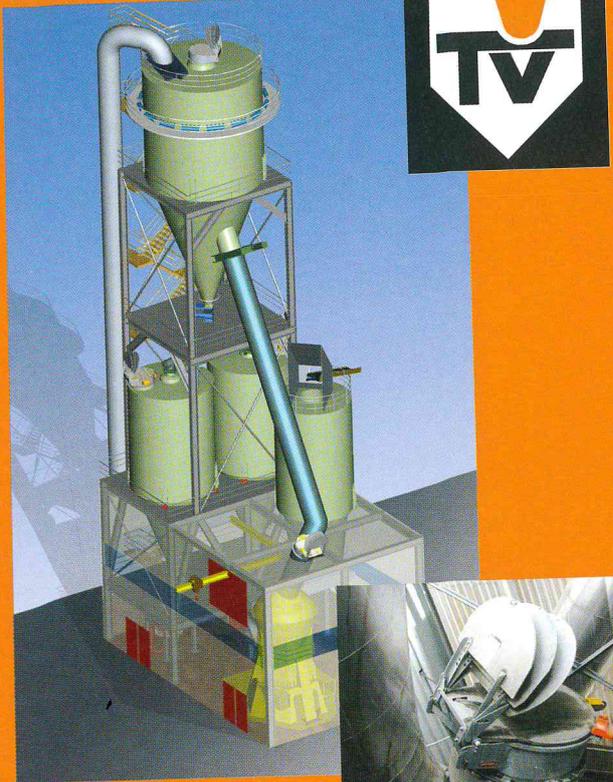
- La existencia de regulaciones responsabiliza a productores e importadores de la recogida y destino final, ambientalmente sostenible, de los neumáticos usados, creó una cadena de reciclado y reutilización de los neumáticos usados en Brasil.
- Las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de neumáticos, son un 15% inferiores a las procedentes de la combustión del coque de petróleo, si se considera la fracción de biomasa existente en los neumáticos, esta diferencia podría ser mayor.
- No se produce un incremento en las emisiones atmosféricas procedentes de la valorización de neumáticos en hornos de clínker y todos los parámetros monitorizados atienden a los límites establecidos por las Autoridades Ambientales. Además, se observa una reducción significativa en las emisiones de NO_x.
- El clínker producido con neumáticos enteros y troceados presenta una mejor relación C₃S/C₂S en relación con las otras situaciones.
- La cuantificación de las fases mineralógicas realizada mediante el Método Rietveld y la Microscopía han mostrado resultados similares, con la excepción de las fases C₃S y MgO. El Método de Bogue presenta grandes discrepancias en relación con otros métodos.
- No se han producido alteraciones en el análisis de elementos en los ensayos en disolución de clínkeres producidos durante la valorización de neumáticos.
- La utilización de hornos de clínker para la destrucción de neumáticos usados reúne ventajas económicas, tecnológicas y medioambientales, en la medida que preserva recursos naturales no renovables y elimina grandes cantidades de residuos de una forma segura y definitiva, incorporando al clínker los elementos introducidos en el proceso.
- La valorización de neumáticos es una importante contribución de la industria cementera al desarrollo sostenible.

Bibliográficas

Santos, J.M.C., 2008. "Tires co-processing in clínker production. Univesrity of São Paulo".

Resolution 264/99, "Specific procedures, criteria and aspects technician of environment licensing for the wastes co-processing in clínker kilns". National Environment Council, Conama.

THORWESTEN VENT



Seguridad en plantas de Molienda de Carbón

Ofrecemos protección contra explosiones en las industrias, que típicamente usan polvo de carbón, polvo de lignito y coque de petróleo

Desarrollamos conceptos completos de soluciones para la protección contra explosiones en la industria cementera, como por ej. la combinación compacta de separación y almacenaje de carbon pulverizado. Las compuertas de explosión Thorwesten Vent con cojín neumático, de la segunda generación y en sus diferentes ejecuciones brindan seguridad.

También suministramos paquetes de ingeniería y suministro de hardware para silos de combustible sólido incluyendo instrumentación de proceso y seguridad, filtro de silo, compuertas de explosión, sistemas de ayuda de descarga etc.

Cuidamos su seguridad

THORWESTEN
VENT

THORWESTEN VENT GmbH

Daimlerring 39 · 59269 Beckum / Germany · Tel. +49 (0) 25 21/93 91-0
thorwesten.vent@thorwesten.com · www.thorwesten.com

- (ES) IBERTEC, S.A. · Tel. +34(93) 2411731 · m.dalbert@iberteca.com
- (CO) Ferrotec Industrial Ltda. · Tel. +57(1) 6124588 · sales@ferrotec.com.co
- (MX) SERVIMEX · Tel. +52(55) 53932071 · gilberto.rodriguez@servimex.net
- (PE) Rubros e.I.r.l. · Tel. +51(1) 3726775 · rubros@infonegocio.net.pe
- (AR) ExCon-Explosion Controlada · Tel. +54(11) 4116 4797 · diego.k@explosioncontrolada.com
- (NI) MSIS - Morris Sallick Industrial Supplies, Inc. · Tel. +505 2266 2011 · rodrigo@msis.org

■ **Tabla 4. Comparativo de métodos de análisis de las fases - % en peso. (Fuente: Santos, 2008).**

Fase	Valorización de neumáticos enteros y troceados			Valorización de neumáticos troceados			Sin valorización		
	Modal	Rietveld	Bogue	Modal	Rietveld	Bogue	Modal	Rietveld	Bogue
C ₃ S	61,5	52,0	69,1	49,2	44,6	70,7	55,6	48,9	68,9
C ₂ S	21,3	25,0	4,6	30,9	29,3	2,2	25,4	24,3	4,7
C ₃ A	1,4	1,0	2,0	1,6	1,3	1,8	2,8	3,0	3,3
C ₄ AF	10,9	12,4	12,8	13,6	13,6	12,6	11,9	13,3	11,2
MgO	3,3	8,1	-	3,5	8,3	-	2,8	8,7	-
CaO	1,7	-	-	1,3	-	-	1,5	-	-
CaSO ₄	-	1,5	-	-	1,5	-	-	0,8	-
CaCO ₂	-	5,2	-	-	1,4	-	-	1,1	-
C ₃ S/ C ₂ S	2,9	2,1	14,9	1,6	1,5	32,4	2,2	2,0	14,7

■ **Tabla 5. Resultados de los análisis en disolución. (Fuente: Santos, 2008).**

	Valorización de neumáticos enteros y troceados (mg/L)	Valorización de neumáticos troceados (mg/L)	Sin valorización (mg/L)
Zn	n.d	0,024	n.d
Cu	0,023	0,137	0,018
Ag	0,00007	0,00001	0,00005
Ba	1,863	1,550	1,769
As	n.d	n.d	n.d
Hg	n.d	n.d	n.d
Se	n.d	1,394	n.d
Al	0,221	0,161	0,174
Mn	0,0315	0,077	0,0285
Pb	0,00028	0,000348	0,000243
Cr	0,0995	0,215	0,101
Cd	0,000033	0,000059	0,000015
Fe	0,107	0,061	0,259
Cl-	3,1	2,83	3,17
F-	n.d	0,254	0,037
SO ₄ ²⁻	463,87	499,27	440,82
Fenol	n.d	n.d	n.d
Na ₂ O	110,0	122,5	107,5
CN-	0,052	0,065	0,069

n.d – no detectado.

Procedure P4.263/03, "Procedure for waste utilization in clínker kilns". Environment Agency of the State of São Paulo, CETESB.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. 2005. "CO₂ emission factor for fuels".