

# **EMPLEO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LOS HORNOS DE CEMENTO PORTLAND Y ÁRIDOS LIGEROS DE EE.UU.**

**RICHARD FAMILIA**

*VICEPRESIDENTE DE RECURSOS Y RECUPERACIÓN DE RESIDUOS  
GIANT CEMENT HOLDING, Inc. (GRUPO CEMENTOS PORTLAND)*

**MANUEL DE MELGAR Y OLIVER**

*INGENIERO DE MINAS  
DIRECTOR GENERAL CORPORATIVO DE CEMENTOS PORTLAND, S.A.*

En Estados Unidos existen ocho empresas fabricantes de cemento portland que tienen 16 fábricas que utilizan combustibles derivados de residuos peligrosos (CDRP) como sustituto de los combustibles fósiles. En los últimos 10 años, la empresa Giant Cement Holding, Inc. (GCHI) y sus filiales han utilizado una combinación de combustibles que ha permitido maximizar el consumo de modo permanente de CDRP en Estados Unidos. La filial de Giant Cement Co. ubicada en Carolina del Sur es la que más uso ha hecho de los CDRP en una sola fábrica durante los 10 últimos años. Las limitaciones impuestas por la normativa vigente, las características físicas y los componentes químicos influyen en las tasas de sustitución de CDRP de los hornos de producción de cemento y de áridos ligeros.

Giant Cement Holding, Inc., (GCHI), junto con su filial principal, Giant Cement Company, ha puesto en práctica el primer programa de sustitución de combustibles derivados de residuos peligrosos de Estados Unidos. A la cabeza de todas las empresas fabricantes de cemento portland de EE.UU. por la cantidad de CDRP empleada desde 1993, GCHI y Giant Cement han probado su capacidad para optimizar las velocidades de alimentación de CDRP por el manejo de una gran variedad de combustibles derivados de residuos, alcanzando sus objetivos de explotación y cumpliendo las exigencias legales impuestas por la normativa vigente. Con sus instalaciones para el manejo de CDRP, tanto sólidos como líquidos, estos rendimientos se mantendrán e incluso mejorarán en el futuro.

## Hornos de cemento portland y de áridos ligeros que emplean combustibles derivados de residuos peligrosos

En Estados Unidos, ocho empresas fabricantes de cemento portland cuentan con 16 fábricas que utilizan combustibles derivados de residuos peligrosos (CDRP) como sustituto de los combustibles fósiles.

En 1993, dos años después de que la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU. comenzase a regular las Calderas y Hornos Industriales, había 16 empresas de cemento portland y áridos ligeros que operaban 29 fábricas autorizadas para la utilización de CDRP. Por causas diversas, entre las que se encontraban razones económicas, de opinión pública y de normativa vigente, numerosas empresas decidieron posteriormente no seguir utilizando los CDRP

Figura 1: Fábricas de cemento y áridos ligeros que utilizaban combustibles derivados de residuos peligrosos en 1993.



como sustituto de los combustibles fósiles. De las 29 fábricas iniciales, solo 16 han continuado aplicando programas CDRP con resultados satisfactorios.

En 1993, según un estudio realizado por E.I. Digest, las 29 fábricas que originariamente utilizaban este tipo de combustibles consumieron 1,048.000 toneladas de CDRP, mientras que en el año 2000, las 16 fábricas que seguían utilizándolos consumieron 1,155.000 toneladas de CDRP. Aunque el número de fábricas que seguían utilizando CDRP se había reducido de 29 a 16, la cantidad total de CDRP consumido había aumentado en un 10%.

Entre las ocho empresas fabricantes de cemento portland que siguen utilizando CDRP en su proceso de fabricación y sus filiales adquiridas han utilizado una proporción de combustibles que les ha permitido optimizar el consumo para conseguir utilizar la máxima cantidad media anual de CDRP con resultados satisfactorios.

Considerando cada planta de fabricación de forma individualizada, se presentan las principales fábricas de cemento portland de Estados Unidos por el índice de consumo medio de CDRP durante este mismo periodo.

Figura 2: Fábricas de cemento y áridos ligeros que utilizan combustibles derivados de residuos peligrosos en 2002.

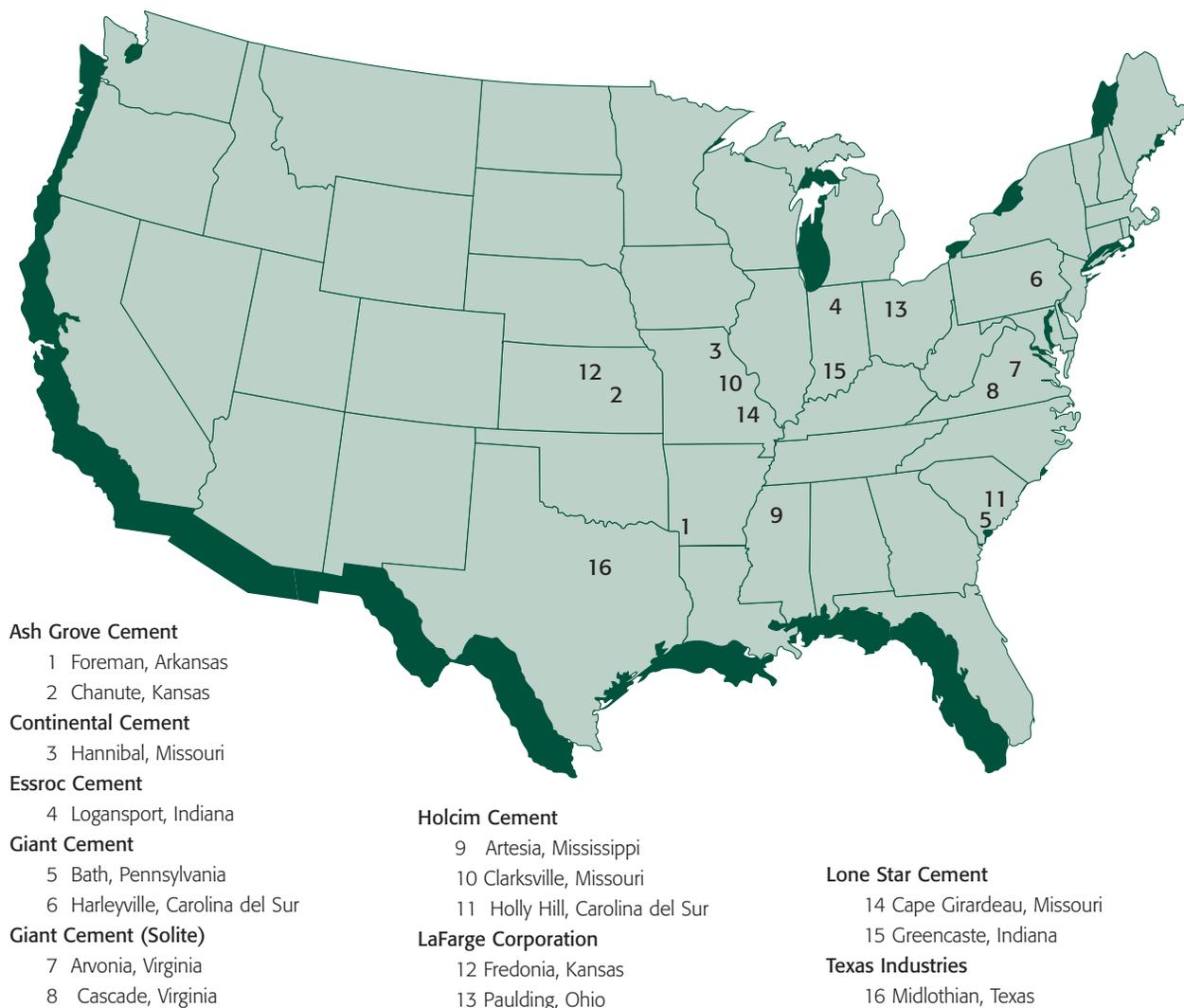


Gráfico 1.- Combustibles derivados de residuos peligrosos consumidos por la industria cementera y de áridos ligeros de Estados Unidos.

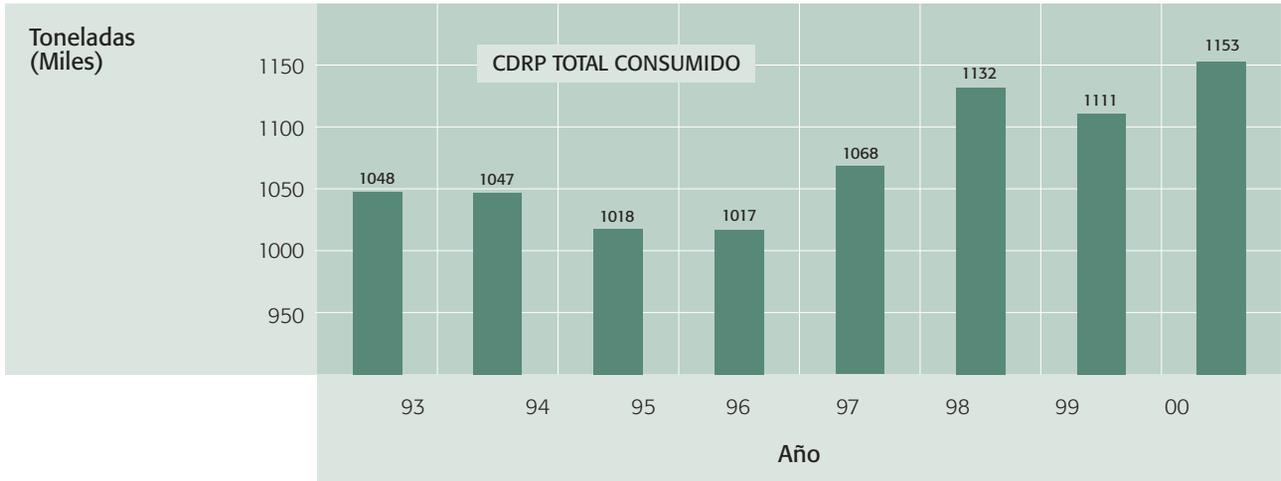


Gráfico 2: Consumo medio anual de CDRP por empresa en la industria cementera y de áridos ligeros de Estados Unidos.

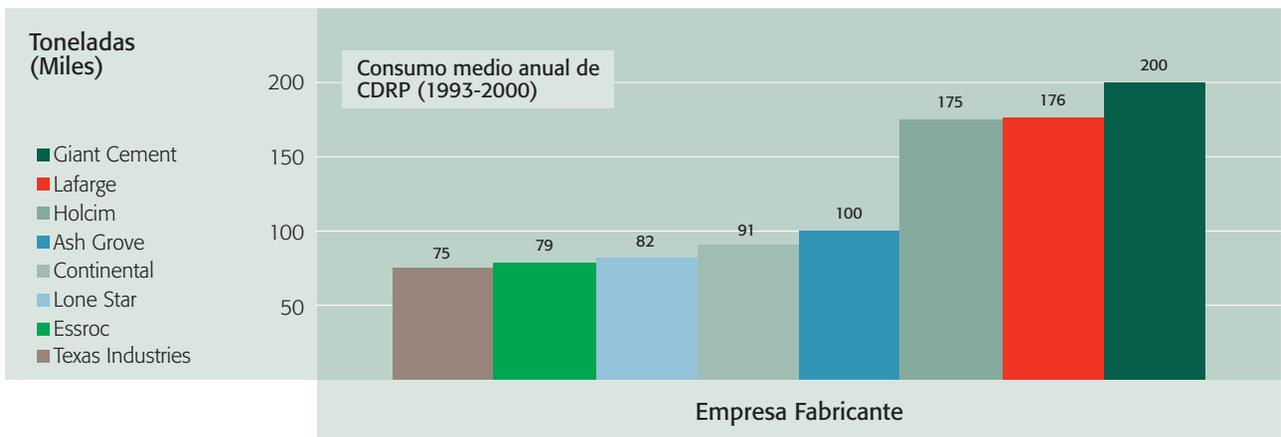
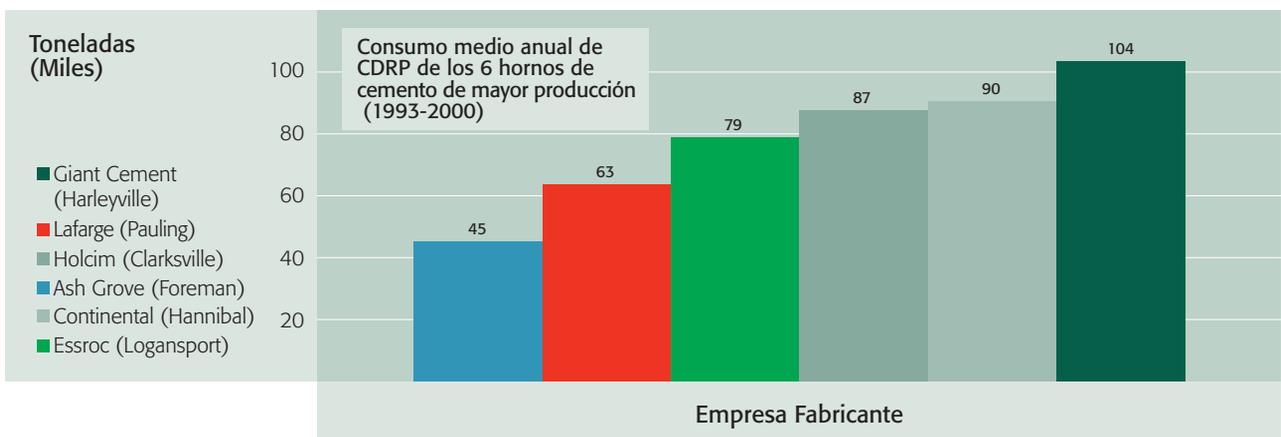


Gráfico 3: Consumo medio anual de CDRP por fábrica de las principales industrias cementeras de Estados Unidos.



## Generadores y tipos de CDRP

Los CDRP empleados en EE.UU. se adquieren de múltiples fuentes, localizadas principalmente en EE.UU., aunque también proceden en menores cantidades de Canadá, Puerto Rico y México. Los generadores típicos de CDRP son:

1. Fabricantes de pinturas
2. Fabricantes de productos químicos
3. Industrias de artes gráficas
4. Fabricantes de recubrimientos
5. Industrias farmacéuticas
6. Industria de automoción
7. Fabricantes de cosméticos y perfumes
8. Industria electrónica
9. Industria del petróleo
10. Industria fotográfica

Estos fabricantes generan una gran variedad de combustibles derivados de residuos en forma de sólidos, fangos y líquidos. Aunque los hornos de cemento portland y áridos ligeros han utilizado unas 1,100.000 t anuales de CDRP desde 1993 a 2000, estas industrias también producen normalmente otros residuos con valor como combustibles que no son regulados como residuos peligrosos. Para que los residuos puedan ser regulados como residuos peligrosos, deben cumplir uno de los siguientes criterios:

**a) Residuos característicos (Códigos D):** Residuos que presentan las características específicas de corrosividad, ignitibilidad, reactividad o toxicidad. Cada una de estas categorías tiene criterios específicos que se deben medir. Las cuatro categorías de residuos peligrosos son:

- **Ignitibilidad:** residuos con una temperatura de inflamación  $< 140$  °F.
- **Corrosividad:** residuos con un pH  $< 2,5$  y  $> 12,0$ .
- **Reactividad:** Residuos que reaccionan violentamente con el agua o que generan gas de sulfuro hidrógeno.

- **Toxicidad:** residuos que pueden producir la lixiviación de niveles especificados de metales tóxicos determinados o materias orgánicas.

<b>D001</b>	Inflamable	<b>D022</b>	Cloroformo
<b>D004</b>	Arsénico	<b>D023</b>	o-Cresol
<b>D005</b>	Bario	<b>D024</b>	m-Cresol
<b>D006</b>	Cadmio	<b>D025</b>	p-Cresol
<b>D007</b>	Cromo	<b>D026</b>	Cresol
<b>D008</b>	Plomo	<b>D027</b>	1,4-Diclorobenceno
<b>D009</b>	Mercurio	<b>D028</b>	1,2-Diclorobenceno
<b>D010</b>	Selenio	<b>D029</b>	1,1-Dicloroetileno
<b>D011</b>	Plata	<b>D030</b>	2,4-Dinitrotolueno
<b>D012</b>	Endrina	<b>D033</b>	Hexaclorobutadieno
<b>D013</b>	Lindano	<b>D034</b>	Hexadoretano
<b>D014</b>	Metoxyclo	<b>D035</b>	Metiletiletona
<b>D015</b>	Toxafeno	<b>D036</b>	Nitrobenceno
<b>D016</b>	2,4-D	<b>D037</b>	Pentraclorofenol
<b>D017</b>	2,4,5-TP (Silvex)	<b>D038</b>	Piridina
<b>D018</b>	Benceno	<b>D039</b>	Tetracloroetileno
<b>D019</b>	Tetracloruro de carbono	<b>D040</b>	Tricloroetileno
<b>D020</b>	Clordano	<b>D041</b>	2,4,5-Triclorofenol
<b>D021</b>	Clorobenceno	<b>D042</b>	2,4,6-Triclorofenol
		<b>D043</b>	Cloruro de vinilo

### b) Residuos de origen no específico (códigos F):

Todo residuo producido como consecuencia de uno de los procesos descritos genéricamente. En esta categoría se encuentran los disolventes halogenados y no halogenados producidos en las operaciones de desgrasado, limpieza de piezas, limpieza de pinturas, residuos de limpieza en seco, desgrasadores por vapor y fondos de los alambiques de recuperación. Son ejemplos de residuos de código F:

**F001** Los siguientes disolventes halogenados gastados empleados para desgrasado: tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, 1,1,1-tricloroetano, tetracloruro de carbono, y fluorocarburos clorados.

**F002** Los siguientes disolventes halogenados gastados: tricloroetileno, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano, orto-diclorobenceno, y triclorofluorometano.

- F003** Los siguientes disolventes no halogenados gastados: xileno, acetona, etil acetato, etil benceno, etil eter, metil-isobutil-cetona, n-butil alcohol, ciclohexanona, y metanol.
- F004** Los siguientes disolventes no halogenados gastados: cresoles y ácido cresílico, y nitrobenceno.
- F005** Los siguientes disolventes no halogenados gastados: tolueno, metil-etil-cetona, isobutanol, piridina, benceno, 2-etoxyetanol, disulfuro de carbono, y 2-nitropropano.

- |             |               |             |               |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| <b>U001</b> | Acetaldehído  | <b>U057</b> | Ciclohexanona |
| <b>U002</b> | Acetona       | <b>U122</b> | Formaldehído  |
| <b>U003</b> | Acetonitrilo  | <b>U154</b> | Metanol       |
| <b>U004</b> | Acetofenona   | <b>U173</b> | Etanol        |
| <b>U019</b> | Benceno       | <b>U220</b> | Tolueno       |
| <b>U051</b> | Creosota (NA) |             |               |

Los residuos que cumplen uno o más de entre los criterios identificados, y que superen 5.000 Btu/lb, podrán ser considerados como CDRP.

### c) Residuos de origen específico (códigos K):

Residuos producidos como consecuencia de procesos denominados específicamente, como fangos generados en el tratamiento de aguas residuales, fondos de destilación o extremos ligeros, fangos de separadores API y polvo doméstico en bolsas. Son ejemplos de residuos K:

- K009** Fondos de destilación obtenidos en la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- K010** Residuos de destilación obtenidos en la producción de acetaldehído a partir de etileno.
- K036** Fondos obtenidos en la destilación de recuperación de tolueno durante la producción de disulfoton.
- K048** Flotación de aire disuelto (DAF) de la industria de refinado del petróleo.
- K049** Sólidos de emulsión de productos derivados de petróleo de mala calidad de la industria de refinado de petróleo.
- K050** Fango de la limpieza de los paquetes de los intercambiadores de calor de la industria de refinado de petróleo.
- K051** Fango de separadores API de la industria de refinado del petróleo.
- K052** Fondos de depósito (emplomados) de la industria de refinado del petróleo.

### d) Residuos catalogados (códigos U y P):

Todo producto químico o producto comercial fuera de especificaciones o no utilizado, específicamente catalogado, desechado o vertido y el material residual del vertido que no esté contaminado con ningún otro residuo catalogado. Son ejemplos de residuos U:

## Limitaciones para el empleo de CDRP impuestas por la normativa vigente

### • Emisiones del horno y límites de los CDRP

Los hornos de cemento portland y áridos ligeros que deseen utilizar CDRP en el proceso de fabricación deben probar que cumplen la normativa de Calderas y Hornos Industriales, según la ley de Recuperación y Conservación de Recursos, de Estados Unidos. La normativa sobre Calderas y Hornos Industriales establece límites para las emisiones al aire y normas de explotación muy completos para todas las calderas y hornos industriales (incluyendo los hornos de cemento portland y áridos ligeros) que utilicen combustibles derivados de residuos peligrosos. Como los estándares de emisión para los metales tóxicos y el cloruro de hidrógeno se basan en parámetros de sanidad pública, los límites específicos del emplazamiento, se debe realizar un ensayo de emisiones en cada emplazamiento, para determinar la velocidad de alimentación máxima de determinados metales y cloruros que puede estar presentes en los CDRP.

### Metales tóxicos regulados por la normativa de calderas y hornos industriales

- |                |               |
|----------------|---------------|
| Antimonio (Sb) | Cromo (Cr)    |
| Arsénico (Ar)  | Mercurio (Hg) |
| Bario (Ba)     | Plata (Ag)    |
| Berilio (Be)   | Plomo (Pb)    |
| Cadmio (Cd)    | Selenio (Se)  |

Desde la entrada en vigor de la normativa de calderas y hornos industriales en 1991, los hornos de cemento portland y áridos ligeros vienen realizando ensayos de emisiones con una periodicidad mínima de tres años. En la fábrica de Giant Cement en Harleyville (Carolina del Sur), los límites de emisión son distintos de los límites establecidos por regulaciones BIF o de las limitaciones de emisiones al aire de los Permisos de Carolina del Sur. Los límites de emisiones establecidos para Harleyville son:

Componentes	Máxima tasa de emisión permitida (g/hr)
Antimonio <sup>1</sup>	1.03E+04
Arsénico	7.93E+01
Bario <sup>1</sup>	1.72E+06
Berilio	1.41E+02
Cadmio	1.90E+02
Cromo	2.90E+01
Plomo	3.10E+03
Mercurio <sup>1</sup>	2.76E+03
Plata <sup>1</sup>	1.03E+05
Talio <sup>1</sup>	1.03E+04
Total Cloruros	1.60E+05

Estos límites son la base para establecer la máxima tasa de entrada para todos los componentes regulados que podrían estar presentes en los CDRP.

Antes de la realización de las pruebas de emisión, basadas en el conocimiento operacional, considerando el diseño de ingeniería, las pruebas de emisión pasadas, y las tasas de supresión conocidas, la tasa máxima de entrada de cada componente regulado es determinada de forma que la tasa de emisión límite no se excederá durante las pruebas de cumplimiento. Las pruebas de emisión se realizarán a continuación utilizando CDRP con los componentes regulados maximizados.

Las pruebas de emisión más recientes en Giant Cement en Harleyville han sido realizadas utilizando los siguientes metales y tasas de entrada de cloro:

Componente	Tasa de emisión actual (g/hr)	Tasa máxima permitida de emisión (g/hr)	% de tasa de emisión permitida
Antimonio <sup>1</sup>	1.03E+04	1.03E+04	100
Arsénico	1.65E-01	7.93E+01	<.01
Bario <sup>1</sup>	1.72E+06	1.72E+06	100
Berilio	<8.38E-03	1.41E+02	<.01
Cadmio	2.55E-01	1.90E+02	<.01
Cromo	6.95E-01	2.90E+01	<.01
Plomo	1.72E+00	3.10E+03	<.01
Mercurio <sup>1</sup>	2.76E+03	2.76E+03	100
Plata <sup>1</sup>	1.03E+05	1.03E+05	100
Talio	1.03E+04	1.03E+04	100
Total Cloruros	1.97E+03	1.60E+05	.01

Utilizando estas entradas para cada componente, las emisiones resultantes están todas por debajo de la máxima tasa de emisión permitida.

Componente	Tasa total de entrada (g/hr)
Antimonio <sup>1</sup>	1.03E+04
Arsénico	3.95E+03
Bario <sup>1</sup>	1.72E+06
Berilio	2.37E+2
Cadmio	1.96E+02
Cromo	1.96E+03
Plomo	1.67E+04
Mercurio <sup>1</sup>	2.76E+03
Plata <sup>1</sup>	1.30E+05
Talio <sup>1</sup>	1.03E+04
Total Cloruros	177281

Las tasas totales de entrada de las pruebas (en g/hr) de cada componente son las que se alimentan actualmente en los CDRP.

**Cuadro 1.- Límites de la velocidad de alimentación de metales y cloruros de Giant Cement Company (2002).**

	Cl	Ag	As	Ba	Be	Cd	Cr	Hg	Pb	Sb	Se
Concentración (ppm)	21.700	12.611	124	95.549	8	220	3.460	260	2.310	1.246	11.375

<sup>1</sup> Bajo las regulaciones BIF, hay una exclusión de realizar pruebas de emisión si la tasa de entrada para un componente particular es igual a la tasa de emisión. Giant Cement en Harleyville decidió usar esta tasa de entrada para el antimonio, el bario, mercurio, la plata, y el talio.

## • Análisis de recepción de los residuos

Todas las fábricas que reciben CDRP deben seguir un procedimiento formal para la recepción y análisis de los residuos, que no solo especifica el modo de tratar los CDRP, sino que también establece restricciones en su recepción, imponiendo limitaciones a los niveles de concentración presentes de los metales y cloruros citados anteriormente. Este procedimiento ofrece muchas ventajas para la instalación de producción y almacenamiento:

- 1) Reducción de las responsabilidades en que se pudiera incurrir al disminuir la posibilidad de manipulación o tratamiento indebido de los residuos.
- 2) Permite la planificación de operarios para las operaciones de mezclado.
- 3) Garantía de que todos los participantes en el proceso disponen de la misma información.
- 4) Fomento de la regularidad y disminución de la probabilidad de errores.
- 5) Establecimiento de un mecanismo de gestión interno fiable y coherente para la adecuada identificación de los residuos.
- 6) Proporciona una prueba legal a los clientes y a las autoridades competentes de que la instalación cumple las normas de calderas y hornos industriales.

## • Materiales que se deben evitar

A efectos de recuperación de recursos, no se acepta la recepción y manipulación de ciertos residuos. Se aplican restricciones en los siguientes:

PCB	Materiales radioactivos	Lacramatos
Dioxinas	Ácidos inorgánicos	Mercaptanos
Insecticidas	Productos cáusticos	Peróxidos
Pesticidas	Cianuros orgánicos	Sulfuros
	Biológicos	
	Herbicidas	

## Características físicas y limitaciones de los CDRP

En Estados Unidos, los CDRP se alimentan a los hornos de cemento portland y áridos ligeros de tres formas principalmente: líquido, sólidos a granel y sólidos envasados.

Las 16 fábricas de cementos y áridos que utilizan CDRP alimentan los hornos con CDRP líquidos, y sólo 4 los alimentan también con CDRP sólidos a granel o envasados.

	Líquidos	Envasados	Sólidos a granel
<b>Ash Grove</b>			
Foreman	X	X	
Chanute	X	X	
<b>Continental</b>	X		X
<b>Essroc</b>	X		
<b>Giant Cement</b>			
Bath	X		
Harleyville	X		X
Arvonía	X		
Cascade	X		
<b>Holcim</b>			
Artesia	X		
Clarkville	X		
Holly Hill	X		
<b>Lafarge</b>			
Paulding	X		
Fredonia	X		
<b>Lone Star</b>			
Cape Girardeau	X		
Greencastle	X		
<b>Texas Industries</b>	X		

## • CDRP envasados

Los sólidos y fangos envasados en recipientes se emplean exclusivamente en Ash Grove Cement, junto con su socio de combustible, Cadence Environmental Systems. Este método implica la inyección en el horno de recipientes o bolsas de hasta 8 galones de capacidad, por medio de un proceso patentado de inyección en el centro del horno.

Los residuos en forma de mezcla homogénea se envasan normalmente en contenedores de plástico estancos de hasta 8 galones de capacidad, o si se trata de residuos secos en

bolsas, y se introducen en el horno rotatorio a través de una válvula de compuerta situada en la pared del cilindro del horno. Los residuos del contenedor son residuos combustibles sólidos, desde sólidos cristalinos duros, hilachas y filtros de café hasta fangos viscosos y pegajosos.

## • CDRP sólidos a granel

Los sólidos a granel triturados se introducen en el horno por inyección a través de un tubo de inyección situado en el lado caliente del horno. Continental Cement Company y Giant Cement Company son las únicas fábricas que utilizan este método de sustitución de CDRP.

Los sólidos a granel, formados por trapos, fibras sintéticas, plásticos, pintura seca, polímeros y otros residuos contaminados, se trituran hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1 1/2 - 2 1/4 pulgadas. Estos sólidos se llevan por cinta transportadora a la cabeza del horno, y se soplan al interior del horno de modo que se produzca la combustión del CDRP mientras está en suspensión en la atmósfera del horno.

## • CDRP líquidos

Los CDRP más utilizados con mucho como combustible alternativo en los hornos de cemento y áridos son los CDRP líquidos. Todos los hornos de cemento portland y áridos ligeros autorizados que emplean CDRP como sustituto de los combustibles fósiles introducen CDRP líquido en sus hornos. Habitualmente, el combustible a granel se lleva al emplazamiento del horno, directamente desde el generador de resi-

duos, o a través de un centro de tratamiento intermedio, que recibe los CDRP de diversos generadores y los combina para obtener el combustible a granel deseado. Los CDRP a granel se entregan normalmente en camión cisterna o vagón de carga. De las 16 instalaciones que utilizan CDRP, diez los reciben tanto en camión como en vagón de carga, mientras que seis los reciben solo por camión cisterna\*.

## • Limitaciones físicas

Además de las limitaciones de la concentración presente de los diversos componentes impuestos por la normativa vigente, las velocidades de alimentación vienen limitadas también por restricciones de orden físico. Los sólidos quedan limitados por el tamaño de partícula y las condiciones de manipulación, mientras que la velocidad de alimentación de los líquidos queda limitada por la viscosidad, temperatura y concentración de sólidos.

### • Sólidos en contenedores

Limitados por el tamaño de toma de inyección, típicamente < 8 galones  
Limitados por peso / recipiente

### • Sólidos a granel

Tamaño de partícula 1 1/2 - 2 1/4"  
Secos, sin líquidos libres

### • Líquidos

Concentración de sólidos 10 – 40 %  
Viscosidad - < 5.000 CPS (combustión directa)  
- < 1.000 CPS (almacenamiento a granel)  
Temperatura - < 100 °F (almacenamiento a granel)  
- < 260 °F (combustión directa)

## \*CDRP líquidos.

Vagones de carga y cisternas	Solo cisternas
Lafarge – Paulding	Holcim – Clarksville*
Lafarge – Fredonia	Lone Star – Cape Girardeau
Holcim – Artesia	Lone Star – Geencastle
Holcim – Holly Hill	Giant Cement – Bath
Essroc – Logansport	Giant Cement – Cascade
Ash Grove – Chanute	Giant Cement – Arvonía
Ash Grove – Foreman	
Continental – Hannibal	
Texas Indus – Midlothian	
Giant Cement – Harleyville	

\* Tendrá capacidad para vagones de carga para 2003

## Componentes de los CDRP no regulados y que influyen en la operación del horno

Los dos componentes principales no regulados, y que influyen en la operación del horno, que se deben tener en cuenta para obtener una tasa de sustitución CDRP satisfactoria son el valor Btu (poder calorífico) y el agua.

Para obtener la máxima velocidad de alimentación de CDRP, después de tener en cuenta las limitaciones reglamen-

tarias, el valor calorífico del CDRP deberá suponer un provecho para el proceso de fabricación de cemento. Si se emplea carbón con un valor calorífico nominal de unos 12.400 Btu/lb, cuanto más se aproxime el CDRP a este valor, tanto mayores serán las posibilidades de obtener buenos resultados con el programa de sustitución.

**Cuadro 2.- Valor Btu de los CDRP alimentados.**

	Mín.	Máx.	Medio
Líquido	9.737	16.263	11.511
Sólido	5.003	15.981	7.871

**Cuadro 3.- Porcentaje de H<sub>2</sub>O del CDRP alimentado.**

	Mín.	Máx.	Medio
Líquido	0	23,8	14,8
Sólido	0	0	0

El agua, por otro lado, influye tanto sobre el valor calorífico como sobre las características del flujo de aire del horno.

A medida que se incrementa el contenido de agua en el CDRP líquido, también aumenta el volumen del horno ocupado por la corriente y se deberá arrastrar un mayor volumen de gas a través del horno para mantener el suficiente oxígeno que permita una combustión completa. El aumento de caudal de aire produce una mayor velocidad en el horno, que alarga y enfría la llama. Esto puede tener un efecto negativo sobre la calidad del clínker, así como un aumento de las pérdidas en forma de polvo. Este efecto se puede compensar con la combustión simultánea de combustible de alta calidad, como carbón o coque. Si el horno es del tipo limitado por ventilador, o si la pérdida de polvo es demasiado elevada, la producción de clínker también se ve reducida. Mezclando agua con una concentración constante, y ajustando la entrada total de Btu por adición de carbón o coque, se puede mantener un régimen estacionario estable en la operación del horno, con una producción de clínker óptima.

### Niveles de concentración de los componentes químicos presentes en los CDRP recibidos por Giant Cement Company

Giant Cement Company recibe ambas formas, líquida y sólida, de CDRP, con gran variedad de concentraciones de sus diversos componentes químicos. Los programas de tratamiento de CDRP satisfactorios se logran recibiendo estos CDRP y mezclándolos para obtener un combustible de calidad uniforme que cumpla los límites y condiciones impuestos por la normativa vigente.

Tal como se citó anteriormente, se deben determinar las velocidades de alimentación dentro de los límites exigidos para los diversos metales y cloruros mediante ensayos de emisiones, y las concentraciones resultantes deben basarse en el valor máximo de la velocidad de alimentación de CDRP. Los niveles de concentración de los diversos metales presentes en los residuos en el momento de la recepción son muy variables, según el origen de los CDRP. Los residuos de la industria de automoción pueden presentar elevados contenidos de plomo, o los residuos de la industria fotográfica pueden contener plata, mientras que los residuos de la industria electrónica pueden contener niveles elevados de berilio. Sin embargo, estos residuos, cada uno con sus elevados niveles de metales, se

**Cuadro 4.- Concentraciones de metales (ppm) de los CDRP líquidos recibidos en Giant Cement (2001).**

	Mín	Máx.	Media de la mezcla	Límite
Ag	1	59	5	12.611
As	9	59	25	124
Ba	14	8.931	863	95.549
Be	0	4	0	8
Cd	1	223	8	220
Cr	5	719	919	3.460
Hg	1	8	2	260
Pb	20	983	172	2.310
Sb	7	1.224	90	1.246
Se	9	240	34	11.375
Cl	11.000	29.053	15.113	21.700

**Cuadro 5: Concentraciones de metales (ppm) de los CDRP sólidos recibidos en Giant Cement (2001)**

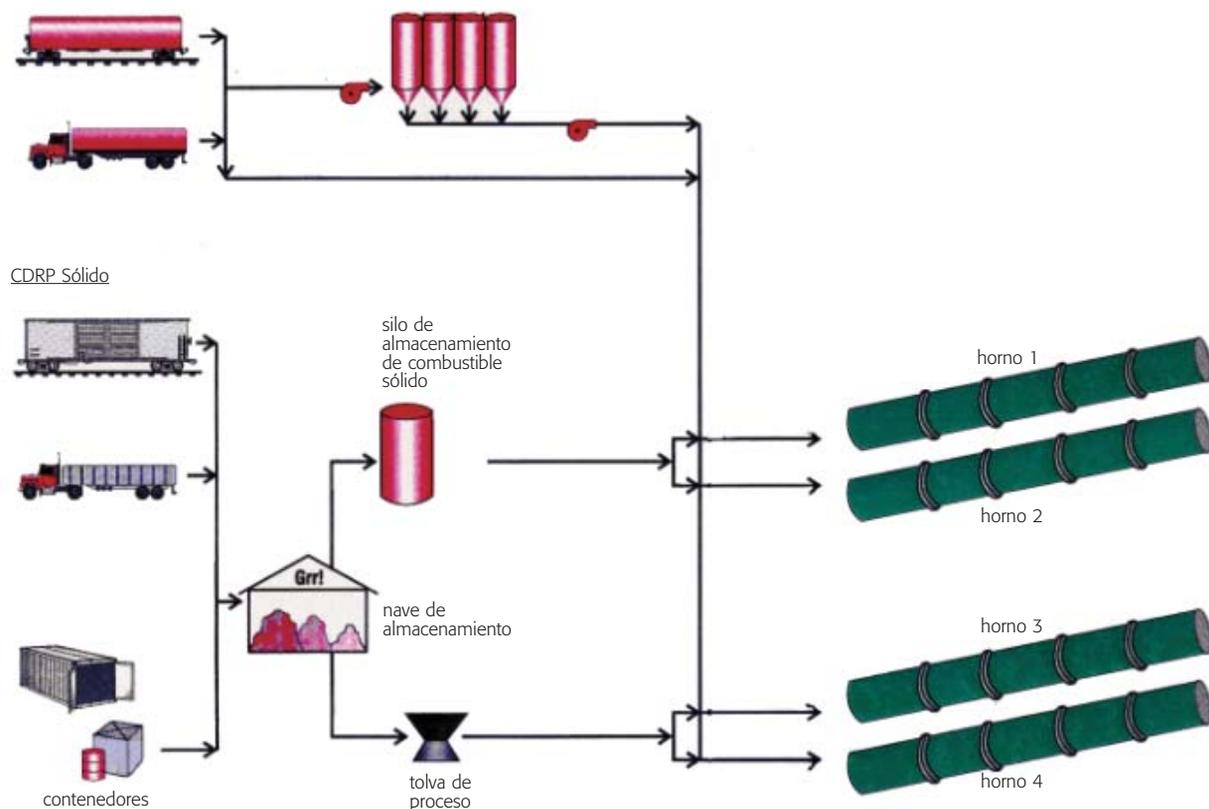
	Mín	Máx.	Media de la mezcla	Límite
Ag	0	4.813	43	12.611
As	0	9.302	46	124
Ba	0	104.000	2.513	95.549
Be	0	89	1	8
Cd	0	1.710	28	220
Cr	4	3.780	762	3.460
Hg	0	662	3	260
Pb	2	185.800	1.127	2.310
Sb	0	6.421	117	1.246
Se	0	4.960	48	11.375
Cl	4.878	12.248	9.671	21.700

combinan entre sí para obtener un residuo con una concentración media que permita una velocidad de alimentación que se mantenga dentro de los valores impuestos por la normativa vigente.

Con la velocidad de alimentación de CDRP máxima y las velocidades de alimentación de metales y cloruros máximas establecidas por la normativa vigente, la concentración real de todos los metales y cloruros de los residuos recibidos se debe combinar para rebajar los límites de concentración. El logro de un programa de sustitución CDRP satisfactorio se basa principalmente en el cumplimiento de estos límites. La experiencia de Giant Cement en la combinación de todos los combustibles alimentados para mantenerse por debajo de los límites legales ha permitido lograr unas velocidades de alimentación de CDRP totales satisfactorias y la utilización regular de grandes volúmenes.

**Figura 3: Esquema de proceso para CDRP líquidos y sólidos.**

CDRP Líquido



## Capacidades para el manejo de CDRP de Giant Cement Company

La fábrica de Giant Cement Company de Harleyville (Carolina del Sur) tiene una gran variedad de instalaciones para el manejo de CDRP. Estas instalaciones permiten el tratamiento de residuos sólidos y líquidos, recibidos en vagones de carga, cisternas, camiones y volquetes, los que permite a Giant Cement Company la manipulación de una gran variedad de residuos.

Los CDRP líquidos se pueden procesar mediante uno de los dos sistemas, depósitos de líquidos a granel o alimentación directa, se pueden recibir de ambas formas, en vagones de carga o cisternas. Los CDRP sólidos se pueden recibir en barriles, sacos, camiones o volquetes.

### • Líquidos almacenados a granel

La capacidad de manipulación de líquidos a granel asciende a 290.000 galones de almacenamiento, en 4 depósitos de combinación y quemado agitados.

### • Líquidos de combustión directa

Los CDRP que son incompatibles con la mayoría de los combustibles manejados por el sistema de almacenamiento a granel se pueden quemar directamente alimentándoles desde el depósito. Esto permite la utilización del material sin necesidad del paso intermedio de mezclado en el sistema de depósitos de almacenamiento.

### • Sólidos

Los sólidos a granel se almacenan en un edificio de contención antes de su procesamiento por el sistema de trituración. Los camiones y los volquetes descargan su carga en el interior del edificio. Estos materiales se mezclan, y a continuación, se trituran para alcanzar el tamaño de partícula deseada. Los CDRP triturados se almacenan en el mismo edificio antes de su transporte al horno.

## Índices de sustitución de CDRP en Giant Cement Company

La velocidad de alimentación total autorizada de Giant Cement Company es equivalente a 24 t/h de carbón. El programa de sustitución de combustible de Giant consiste en la alimentación simultánea de CDRP líquidos, CDRP sólidos y carbón. Para establecer las velocidades de alimentación óptimas de cada componente del combustible, se tienen en cuenta las características de manejo, el valor calorífico, las concentraciones de agua y las limitaciones impuestas a los componentes químicos. No obstante, cada combustible tiene diferentes características que influyen sobre la velocidad de alimentación.

Las características del combustible que influyen en la velocidad de alimentación óptima:

CDRP líquidos	CDRP sólidos
Contenido calorífico	Contenido calorífico
Concentración de los componentes químicos	Concentración de los componentes químicos
Contenido de agua	Tamaño partícula
Concentración de sólidos	Sistemas de manipulación y alimentación

Las velocidades de alimentación óptimas, basadas en la experiencia de la manipulación de CDRP, determinan las proporciones de la velocidad de alimentación de carbón - CDRP líquido - CDRP sólido. Para Giant Cement Company, la proporción de velocidades de alimentación de combustible óptimas serían:

Escenario 1	100 % carbón = 24 t/h
Escenario 2	80 % CDRP líquido = 20 t/h 20 % carbón = 4 t/h
Escenario 3	60 % CDRP líquido = 14 t/h 25 % CDRP sólido = 6 t/h 15 % carbón = 4 t/h

Sin embargo, existen diversos factores que contribuyen a que la proporción óptima de las velocidades de alimentación varíe:

- Características del combustible (contenido calorífico, contenido de agua).

- Interrupciones en la manipulación de CDRP (fallos de las bombas y obstrucciones de los sistemas de alimentación y mantenimiento).
- Interrupciones del proceso, incluidas los cortes de alimentación de CDRP exigidos por la normativa vigente.
- Interrupciones del proceso de fabricación de cemento, incluidos puntos calientes del horno, anillos, problemas de calidad del cemento.

Como consecuencia de estos factores, la velocidad de alimentación real de Giant Cement de CDRP líquido, CDRP sólido y carbón son los siguientes:

**Cuadro 6.- Velocidades de alimentación de combustible reales mensuales totales (t) para Giant Cement Company (2001)**

	CDRP líquido	CDRP sólido	Carbón	Total
Enero	8.866	1.998	5.070	15.934
Febrero	7.207	1.791	3.985	12.983
Marzo	6.286	1.533	4.759	12.578
Abril	8.841	2.038	8.771	19.650
Mayo	8.158	1.919	8.897	18.974
Junio	9.893	2.318	6.813	19.024
Julio	10.148	2.508	6.971	19.627
Agosto	9.581	2.133	8.728	20.442
Septiembre	7.437	1.785	10.065	19.287
Octubre	9.789	2.653	8.035	20.477
Noviembre	9.585	1.981	8.010	19.576
Diciembre	10.334	2.243	6.269	18.846
Total	106.125	24.900	86.373	217.398

Mientras que la proporción ideal de líquido-sólido-carbón es 60 % - 25 % - 15 %, la experiencia de Giant Cement Company en 2001 fue 49 % CDRP líquido - 11% CDRP sólido - 40 % carbón. Muchos factores influyen para que la velocidad de alimentación real se desvíe de la velocidad de alimentación ideal. La combustión de grandes cantidades de CDRP puede ser causa de anomalías en la operación del horno. La formación de operarios, las reacciones químicas en el horno y las normas medioambientales influyen en la velocidad de alimentación final de CDRP.

Los operarios necesitan formación y experiencia para optimizar tanto la cantidad de combustible de residuos y la calidad del clínker producido.

El equilibrio químico del clínker puede influir en gran medida sobre la cantidad de residuos quemados. Los residuos líquidos producen normalmente menos cenizas que el carbón, y los residuos sólidos producen una cantidad mucho mayor. El laboratorio debe diseñar la mezcla basándose en la combinación de combustibles previstos. Como la cantidad de ceniza producida por los combustibles de residuos es muy variable, el ajuste fino de la química en el interior del horno se debe obtener cambiando constantemente las proporciones de combustible.

La normativa medioambiental exige el funcionamiento del horno dentro de ciertos parámetros cuando se queman combustibles de residuos. Siempre que un parámetro se sale de sus límites, se deja de alimentar automáticamente el CDRP al horno. A veces no es posible mantenerse dentro de los límites sin alterar las condiciones para la formación de clínker en buenas condiciones. Uno de los parámetros principales que influyen en las velocidades de alimentación totales de CDRP es la cantidad de "Hidrocarburos totales" que se emiten por la chimenea del horno. La cantidad de material orgánico en la mezcla de la materia prima puede tener un efecto importante sobre la cantidad de combustible de residuos utilizados. La normativa exige que la cantidad de hidrocarburos totales (THC) en los gases de salida del horno sea inferior a 20 partes por millón. Si la piedra de la cantera, u otra materia prima, contiene demasiado material orgánico, se generan sustancias volátiles en la alimentación del lado frío del horno, elevando el nivel de THC por encima de 20 ppm. Cuando sucede esto, se corta automáticamente la alimentación de combustible de residuos. La combustión pobre, a menudo causada por el elevado contenido en agua de los combustibles de residuos, también puede producir elevado contenido de THC. Otros parámetros son las temperaturas máxima y mínima de la zona de combustión, la velocidad de alimentación de relleno máxima, que influye sobre las velocidades de alimentación totales de modo variable, la temperatura máxima de entrada de la cámara de sacos y la caída de presión mínima a través de la cámara de sacos.