

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 448 570**

51 Int. Cl.:

**C22C 33/00** (2006.01)

**C22C 35/00** (2006.01)

**C22C 37/00** (2006.01)

**C22C 38/00** (2006.01)

**C21B 3/00** (2006.01)

**C21B 11/00** (2006.01)

**C21B 13/00** (2006.01)

**C22C 1/00** (2006.01)

**C22C 5/00** (2006.01)

**C22C 7/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2005 E 05749445 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2013 EP 1799875**

54 Título: **Método para la espumación de escorias**

30 Prioridad:

**03.09.2004 AU 2004905074**

**10.11.2004 AU 2004906453**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**14.03.2014**

73 Titular/es:

**NEWSOUTH INNOVATIONS PTY LIMITED  
(100.0%)**

**RUPERT MYERS BUILDING GATE 14 BARKER  
STREET UNSW  
SYDNEY, NSW 2052, AU**

72 Inventor/es:

**SAHAJWALLA, VEENA**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 448 570 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método para la espumación de escorias

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para la espumación de escorias formadas en un horno de arco eléctrico durante la producción de una ferroaleación, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Técnica de antecedentes

En los últimos cincuenta años la industria de los plásticos ha experimentado un enorme crecimiento, de modo que los materiales y productos plásticos son ahora esenciales para la sociedad. La producción de plástico en países tales como Japón ha alcanzado alrededor de 15 millones de toneladas al año y esto resulta en aproximadamente 9 millones de toneladas al año de residuos relacionados, el 50% de los cuales está asociado con residuos sólidos municipales.

Existen problemas crecientes con la eliminación de los plásticos, e internacionalmente el reciclaje de los plásticos supone una pequeña proporción de la recuperación de material, siendo el resto desechado a través de vertederos o quemados en incineradores. Los materiales plásticos no se degradan fácilmente y pueden desprender elementos tóxicos al vertedero, mientras que la combustión convencional genera a menudo emisiones peligrosas tales como dioxinas. El documento WO97/18336 describe un procedimiento para la destrucción de materiales basados en caucho y plásticos en un reactor de fundición de hierro que produce un gas limpio.

El documento JP 59 133 309 A describe un procedimiento para cargar géneros de caucho residuales en escoria de acero, para inhibir con seguridad la espumación. El documento EP 0 657 549 A1 describe el suministro de agentes reductores con contenido en carbono de grano fino en la escoria ya espumada.

En todo el mundo, la industria del acero se está enfrentando a una presión para minimizar su impacto sobre el medio ambiente, mejorando la eficacia de la utilización de energía y de recursos. Por ejemplo, se han realizado esfuerzos particulares para reducir la intensidad del carbono de un alto horno. Una estrategia de gestionar la energía de un alto horno implica la reducción del consumo de combustible o coque. Como combustible sustituto se ha propuesto la inyección de plástico en las torretas de un alto horno para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que los plásticos tienen una energía de combustión que es al menos tan elevada como la del carbón pulverizado que normalmente se inyecta, y tienen una relación de hidrógeno a carbono elevada, dando como resultado menos CO<sub>2</sub> producido como un producto de la combustión.

Se conoce la adición de plásticos a otros tipos de hornos para la formación de acero, incluidos hornos de arco eléctrico (EAF – siglas en inglés). Por ejemplo, el documento US 5.554.207 describe un procedimiento en el que polvo de residuos del EAF se combina con plástico residual para formar un sólido, el cual se añade luego al EAF. De manera similar, el documento JP 2004-052002 describe un procedimiento en el que plásticos residuales son amasados conjuntamente con polvo de acero para formar un sólido blando que se añade al EAF. Ningún documento se preocupa de la agregación de un aditivo para fomentar la espumación de la escoria.

45 Sumario

En un primer aspecto, se proporciona un método para la espumación de escoria formada en un horno de arco eléctrico durante la producción de una ferroaleación, que comprende las características de la reivindicación 1.

La terminología “polímero con contenido en carbono no aglomerado” cubre tanto polímeros granulados como en partículas, finos y toscos, y pretende excluir polímeros como los formados conjuntamente con el polvo residual del EAF o polvo de acero. Sólidos aglomerados de este tipo no funcionarían como un agente de espumación de la escoria.

No se ha contemplado previamente, en un horno de arco eléctrico, que un polímero con contenido en carbono, no aglomerado, podría utilizarse para provocar la espumación de la escoria. En un horno de arco eléctrico, la espumación incrementada de la escoria cubre mejor al metal fundido y retiene mejor el calor (es decir, aísla) y esto conduce a un consumo considerablemente reducido de electricidad en el EAF.

El polímero con contenido en carbono, no aglomerado, actúa adicionalmente como un agente reductor, como un combustible durante el tratamiento del metal; y/o actúa como una fuente de combustibles; y/o actúa como un re-

carburante para aumentar la cantidad de carbono presente con el hierro en la ferroaleación final producida. Por ejemplo, en hornos de arco eléctrico, la fuente primaria de combustible ha sido la electricidad.

5 El plástico residual puede, así, potenciar la eficacia de la energía (es decir, mediante el uso de menos electricidad) y puede reducir el consumo (y, por lo tanto, el coste) de fuentes de carbono tradicionales tales como coque y carbón. El plástico residual también puede reemplazar o reducir el uso de re-carburantes costosos tales como carbón antracita y grafito.

10 Cuando en esta memoria se utiliza el término "ferroaleación", éste pretende incluir una amplia gama de aleaciones de hierro-carbono (incluidos aceros) y otras aleaciones de hierro-carbono y/o basadas en hierro, incluido ferrocromo, ferrocromo silicio, ferromanganeso, ferrosilicomanganeso, ferrosilicio, magnesio ferrosilicio, ferromolibdeno, ferroniquel, ferrotitanio, ferrofósforo, ferrowolframio, ferrovandio, ferrozirconio, etc.

15 Típicamente, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga en el horno de modo que se queme al menos parcialmente y produzca un residuo carbonáceo a medida que se quema. El polímero actúa como un combustible. El residuo carbonáceo puede luego oxidarse para provocar la espumación de la escoria. El residuo puede actuar adicionalmente como un agente reductor o re-carburante. Así, típicamente, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, cargado en el horno, funciona como un precursor de la espumación de la escoria. También puede actuar como un precursor de re-carburante o precursor de agente reductor.

20 Mientras que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, puede comprender el único aditivo cargado en el horno, en una realización típica, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga en el horno con otra fuente de carbono. Esta otra fuente de carbono puede quemarse para actuar como un combustible. También puede contribuir a la espumación de la escoria, y puede funcionar como un agente reductor o re-carburante. La otra fuente de carbono puede ser carbón, coque, carbón de leña, carbón vegetal o grafito.

25 Como un ejemplo, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, y otra fuente de carbono se puede cargar en el horno aproximadamente en una relación ponderal de 1:1, a pesar de que esta relación puede variar de un horno a otro.

30 En una adaptación típica del método, el polímero con contenido en carbono es un plástico residual. La carga de un plástico residual en el horno proporciona medios eficaces de eliminación del plástico residual que, de otro modo, plantea retos medioambientales.

35 Típicamente, el polímero con contenido en carbono comprende los átomos C, H y, opcionalmente, O solo. Mientras que en el polímero pueden estar presentes otros elementos (p. ej. N, S, P, Si, halógenos, etc.), estos otros elementos pueden interferir en la producción de la ferroaleación y/o pueden producir contaminantes, impurezas, gases nocivos, etc. Así, seleccionando juiciosamente el polímero con contenido en carbono, se puede evitar la formación de gases nocivos y otros productos perjudiciales o dañinos. Un plástico adecuado es polietileno, pero también se pueden emplear otros plásticos tales como polipropileno, poliestireno, polibutadieno-estireno, ABS, etc., e incluso plásticos difíciles de volver a procesar tales como baquelita.

40 Típicamente, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga en el horno en forma de partículas de polímero, típicamente de un tamaño de partícula de 100  $\mu\text{m}$  o menor.

45 Pese a que una ferroaleación típica producida es el acero, la producción de otras ferroaleaciones, (tal como se describen arriba) puede emplear la carga de un polímero con contenido en carbono, no aglomerado,

50 En un segundo aspecto, se proporciona el uso de un polímero con contenido en carbono, no aglomerado, en calidad de un agente de espumación de la escoria en la producción de una ferroaleación en un horno de arco eléctrico.

Típicamente, el uso del polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se encuentra en la producción de una ferroaleación conseguida por el método del primer aspecto.

55 En un tercer aspecto se proporciona un método que comprende las etapas de la reivindicación 13.

Típicamente, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga con el fin de que se queme en el horno y libere energía calorífica a la aleación/material de alimentación fundido y para generar una sustancia que espume la escoria.

60 Opcionalmente, la sustancia puede, además de espumar la escoria:

- provocar una reducción química de cada uno de los óxidos de metales en la escoria para producir la ferroaleación; y/o
- recarburar una aleación resultante de hierro y carbono.

## 5 Breve Descripción de los Dibujos

Sin perjuicio de que otras realizaciones que pueden caer dentro del método para producir una ferroaleación según se define en el Sumario, se describirán ahora realizaciones específicas del método, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

- 10 • La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un horno de resistencia de tubo horizontal establecido para una estrategia de goteo sésil según se describe en el Ejemplo 1;
- las Figuras 2A a 2F representan en cada caso una gota de la escoria y muestran en secuencia la espumación de escoria para un sistema de grafito/escoria en función del tiempo, utilizando la disposición de horno de resistencia de tubo horizontal de la Figura 1;
- 15 • las Figuras 3A a 3F representa cada una una gota de escoria y muestran en secuencia la espumación de la escoria para un sistema de coque/escoria en función del tiempo, utilizando una disposición de horno de resistencia de tubo horizontal de la Figura 1;
- las Figuras 4A a 4C representan respectivamente una gota de la escoria para el grafito, grafito/plástico y coque, cada una de ellas con un sistema de escoria, y que utilizan la disposición de horno de resistencia de tubo horizontal de la Figura 1;
- 20 • la Figura 5 muestra un diagrama esquemático de una disposición de horno de tubo de goteo, según se describe en el Ejemplo 4;
- la Figura 6 muestra un espectro XRD de un residuo carbonáceo a base de una mezcla de 50% de plástico y 50% de grafito después de haber reaccionado en un horno de tubo de goteo según se describe en el Ejemplo 5;
- 25 • la Figura 7 muestra imágenes CCD de la espumación de escoria provocada por diversos materiales carbonáceos, según se describe en el Ejemplo 5;
- la Figura 8 muestra los resultados IR para una reacción entre un sustrato de grafito y una escoria industrial, según se describe en el Ejemplo 5;
- la Figura 9 muestra los resultados IR para una reacción entre un sustrato de 50% de plástico y 50% de grafito y escoria industrial, según se describe en el Ejemplo 5;
- 30 • la Figura 10 muestra los resultados IR para una reacción entre un sustrato de coque y una escoria industrial según se describe en el Ejemplo 5;
- la Figura 11 muestra un diagrama esquemático de un horno de inducción (disolución de carbono) según se describe en el Ejemplo 7;
- 35 • la Figura 12 representa el % de disolución de carbono en una ferroaleación fundida frente al tiempo para el horno de inducción de la Figura 11 y según se describe en el Ejemplo 7;
- las Figuras 13 A y B representan una gota de coque/escoria (fila superior) y coque/plástico HDPE/escoria (fila inferior) a lo largo del tiempo, utilizando la disposición de horno de resistencia de tubo horizontal de la Figura 1;
- la Figura 14 representa la eficacia de la combustión,  $\eta$ , de coque y mezclas de coque con plásticos a 1200°C según se describe en el Ejemplo 9;
- 40 • la Figura 15 muestra imágenes de CCD de la espumación de escoria en función del tiempo para un sistema de 70% de residuo de coque – 30% de residuo de plástico/escoria a 1550°C, según se describe en el Ejemplo 10;
- la Figura 16 representa la generación de gas CO y CO<sub>2</sub> en función del tiempo, según se describe en el Ejemplo 10;
- 45 • la Figura 17 representa el número de moles de oxígeno separados durante interacciones entre la escoria con coque y con una mezcla de 30% de plástico + 70% de coque, según se describe en el Ejemplo 10; y
- la Figura 18 muestra las gráficas  $V_t/V_0$  para coque y mezclas de 30% de plástico + 70% de coque a 1550°C según se describe en el Ejemplo 10.

## 50 Descripción Detallada de Realizaciones Específicas

Durante amplios estudios de la producción de acero en el EAF, se observó que las reacciones químicas entre carbono del soluto/carbono sólido y escoria daban lugar al proceso de espumación de la escoria. La espumación de la escoria se producía debido a generación de gas CO como resultado de la reducción de óxido de hierro en la escoria por parte de carbono, y también debido a la oxidación de carbono. Se observó que la espumación de la escoria dependía fuertemente de la naturaleza del material de alimentación de carbono, gobernando las propiedades del material a altas temperaturas el fenómeno de espumación de la escoria.

Se observó, además, que al igual que proteger al arco eléctrico, una escoria espumosa cubría al baño de metal y le mantenía caliente, conduciendo a un considerable ahorro de energía (es decir, consumo reducido de electricidad). Se observó que un nivel sostenido de la espumación de la escoria era crítico para la producción eficaz de acero en el EAF.

En un desarrollo sorprendente, se postuló que un polímero con contenido en carbono, no aglomerado (p. ej. plástico residual, típicamente en forma de partículas) podía ser introducido en la producción de acero en el EAF. Se presumió que a las altas temperaturas empleadas en la producción de acero en el EAF, el plástico residual, una vez introducido en el molde, se quemaría (actuando así como un combustible) y produciría un producto residual carbonáceo. Subsiguientemente, se postuló que un polímero con contenido en carbono, también podría ser introducido en la producción de otras ferroaleaciones y podría producir de nuevo un producto residual carbonáceo.

Se observó que el producto residual carbonáceo podría entonces provocar la espumación de la escoria en la producción de acero en el EAF y podría funcionar opcionalmente como un agente reductor (p. ej. en la producción de otras ferroaleaciones) y, opcionalmente, también podría funcionar como un re-carburante.

Durante el ensayo, se propuso la hipótesis de que la composición química, estructura y red de unión en el plástico original determinaba las propiedades del residuo carbonáceo. Además, se observó que la cinética de la disolución de carbono a partir de un plástico dado depende de la velocidad a la que el residuo carbonáceo se disolvía en el acero líquido. Se postuló que la naturaleza relativamente muy ordenada del carbono en los plásticos (p. ej. comparado con el carbono en el coque) podría dar como resultado una disolución de carbono potenciada en acero líquido.

La caracterización estructural de los residuos carbonáceos se realizó a partir de una mezcla de plástico-grafito introducida en un horno de tubo de goteo (que simula condiciones de funcionamiento que podrían ser experimentadas en un EAF) para observar aquellos residuos carbonáceos que subsiguientemente condujeran a la espumación de escoria líquida en un EAF, y para confirmar que esos residuos carbonáceos podrían tener una capacidad de reducción y/o una disolución potenciada de carbono en una ferroaleación fundida. Los resultados de la caracterización estructural se recogen más adelante en el Ejemplo 5.

En la producción de otras ferroaleaciones se observó que se estaban utilizando una diversidad de materiales reductores carbonáceos. Materiales reductores conocidos incluían carbonos tales como coque, carbón y carbón de leña y bio-carbonos en forma de carbón vegetal producido a partir de diferentes tipos de madera. De nuevo, se observó que las propiedades del material y las reacciones de estos materiales carbonáceos jugaban un papel significativo en dictaminar el comportamiento reductor.

Por lo tanto, consideraciones experimentales principales incluían también, entre otros, investigaciones en la gasificación del agente reductante, disolución de carbono en el metal fundido y reducción directa de la escoria por parte del carbono sólido.

También se observó que la formación de escoria era típica en la producción de ferroaleaciones distintas de acero. Manganeso y cromo estaban ambos reducidos en los estados sólido y líquido. La disolución de MnO en la escoria, seguida de la reducción a partir de la escoria por parte de carbono sólido o carbono disuelto en metal líquido se consideró como el mecanismo principal de la reducción de MnO. De manera similar, se observó que la reducción de cromito en la escoria líquida por parte de carbono disuelto en masas fundidas de Fe-Cr era importante para la producción de ferrocromo. Las reacciones entre carbono y escoria líquida que contiene mineral disuelto (óxidos de cromo, manganeso) jugaba un papel vital en el proceso de reducción. Por lo tanto, se postuló que los residuos carbonáceos procedentes de plásticos residuales también se podían utilizar como un agente reductor (y, según fuese necesario, agente de espumación de la escoria) en la producción de otras ferroaleaciones.

## Ejemplos

Se proporcionarán ahora ejemplos no limitantes de métodos para producir una ferroaleación.

### Ejemplo 1

Para investigar la espumación de la escoria, se investigaron primero a escala de laboratorio interacciones escoria/carbono en un horno de resistencia de tubo horizontal, utilizando la estrategia de gota sésil. En la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático de la disposición experimental. El peso de la escoria utilizada era ~ 0,20 g. Inicialmente, la muestra se mantuvo en un soporte para probetas que podía ser empujado hacia el centro de la zona caliente en el horno, con ayuda de una varilla de acero inoxidable.

El conjunto escoria/carbono se mantuvo en la zona fría del horno hasta alcanzar la temperatura deseada (1550°C) y se equilibró en la zona caliente del horno. El conjunto se insertó en la zona caliente a la temperatura deseada del estudio. Esto eliminó cualquier reacción que pudiera producirse a bajas temperaturas y, posiblemente, pudiera influir sobre los fenómenos a estudiar a la temperatura de interés. El tubo del horno se purgó con argón a lo largo de la duración del experimento. El caudal de argón se controló mediante un caudalímetro de masa.

El comportamiento de la espumación del sistema escoria/carbono se investigó utilizando una técnica de gota sésil estrechamente controlada y visualmente vigilada. Para capturar los fenómenos vivos in situ en el horno se utilizó una cámara de alta calidad con un dispositivo acoplado a la carga (CCD – siglas en inglés) de alta resolución con una lente IRIS. La salida de la cámara se canalizó a un registrador de videocasete (VCR) y un monitor de televisión (TV) para registrar todo el proceso en función del tiempo. Esto permitió capturar en función del tiempo imágenes específicas, que exhiben el contacto entre la escoria y el material carbonáceo, desde la cinta de vídeo a un ordenador, utilizando un digitalizador de vídeo. En el sistema se utilizó un generador de tiempo-fecha para exhibir la duración del proceso. Se utilizó un software de ordenador especialmente diseñado para determinar el volumen a partir de las imágenes capturadas, sobre la base de un ejercicio de ajuste de la curva. Para una mejor comprensión de la dinámica de reacción, las imágenes se registraron durante hasta 2 horas en la mayoría de los casos.

La composición de la escoria era como sigue: CaO 30,48%, MgO 11,72%, SiO<sub>2</sub> 13,34%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5,24 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 33,33%, MnO 5,24%.

Primeramente se llevaron a cabo investigaciones de espumación de la escoria en grafito y coque. Las investigaciones de la espumación de la escoria se llevaron a cabo posteriormente en plástico.

### Resultados y Discusión

Sistema de grafito/escoria: Los resultados preliminares de la espumación de la escoria en un sistema de grafito/escoria se muestran en función del tiempo en las Figuras 2A a 2F.

El grafito mostró buenas características de espumación con una escoria de producción de acero. En la Figura 2A a T = 13 s, el polvo de la escoria se muestra como comenzando justo a fundir. En la Figura 2B, se muestra la gota de líquido que toma forma a T = 47 s, y en la Figura 2C se muestra formado por completo a T = 57 s. La gotita comienza entonces a aumentar de tamaño, observándose gotas crecientemente mayores en la Figura 2D a T = 1 min 7 s, y en la Figura 2E y a T = 1 min 22 s, indicando que está teniendo lugar la espumación de la escoria. En la Figura 2F a T = 1 min 57 s, la gotita se ha colapsado ligeramente, indicando el escape parcial de algunos productos gaseosos. Así, se encontró que la espumación de la escoria en un sistema de grafito/escoria era bastante rápido y extensivo.

Sistema de coque/escoria: En las Figuras 3A a 3F se muestran en función del tiempo, resultados preliminares sobre la espumación de la escoria en un sistema de coque/escoria.

El coque mostró características de espumación menos fiables con una escoria de producción de acero. En la Figura 3A a T = 9 s, el polvo de la escoria se muestra comenzando justo a fundir. En la Figura 3B, la gota de líquido está tomando forma a T = 1 min 20 s. En las Figuras 3C a 3F se muestran imágenes que oscilan entre T = 2 min 15 s y T = 21 min 37 s. A lo largo de este período de tiempo, la gota del líquido se ha formado por completo. Las cuatro gotas muestran fluctuaciones menores en tamaño y volumen, indicando un nivel más bien pequeño de espumación de la escoria en el sistema de coque/escoria. La velocidad de espumación de la escoria en el sistema de coque/escoria era, por lo tanto, más lenta que el sistema de grafito/escoria.

Estudios de la disolución de carbono revelaron que la constante de la velocidad de disolución para el coque era menor que para el grafito. El comportamiento de la espumación de la escoria de estos dos tipos de carbono era bastante diferente, siendo la tasa y el grado de espumación de la escoria en el sistema de grafito/escoria mucho mayor que en el sistema de coque/escoria. Así, se postuló una relación entre la tasa de disolución de carbono y la espumación de la escoria.

### **Ejemplo 2**

Un análisis de datos de funcionamiento de la planta de un EAF en funcionamiento demostraron que niveles crecientes de la inyección de coque daban como resultado un consumo incrementado de oxígeno, a pesar de que no producían modelo bien definido alguno en el consumo de energía por tonelada de acero cargada.

El EAF en funcionamiento utilizaba dos formas diferentes de carbono en su funcionamiento. Junto con coque que contenía ~ 90% de C, utilizaba unas pocas toneladas de plancha de hierro que contenía 4% de C. El carbono presente en la plancha de hierro ya se había disuelto cuando se fundió la plancha de hierro, mientras que el carbono presente en el coque estaba presente en un estado sólido.

Se observó que la forma de carbono (carbono soluto o sólido) tenía un efecto significativo sobre el consumo medio de energía/tonelada de acero. Con una cantidad creciente de plancha de hierro cargada (equivalente a elevados niveles de carbono soluto) existía una reducción significativa en el consumo de energía. Esta tendencia se interpretó

en términos del papel jugado por el material carbonáceo e indicaba que un aumento en la espumación de la escoria conducía a una disminución en el consumo de energía por tonelada de acero cargada. Por lo tanto, se encontró que la eficacia de carbono en la plancha de hierro en la producción de acero en el EAF era mucho mayor que la correspondiente eficacia para el coque.

- 5 Los autores de la invención observaron que:
- 1.- la cinética de disolución de carbono en el hierro líquido depende fuertemente de la naturaleza del material carbonáceo. Por ejemplo, la constante de la velocidad de disolución para el coque era menor que para el grafito.
  - 10 2.- Los resultados de los sistemas de grafito/escoria y coque/escoria del Ejemplo 1 demostraron que la velocidad y el grado de la espumación de la escoria con el grafito era mucho más elevada que con el coque.
  - 15 3.- Es de esperar que la cinética de interacciones carbono/escoria sea bastante diferente para carbono soluto y para el coque, lo cual daba como resultado amplias variaciones en su comportamiento de espumación de la escoria.

Estos resultados indicaban que una elección apropiada del material carbonáceo podría jugar un papel importante en la espumación de la escoria y, por lo tanto, en la eficacia energética del funcionamiento del EAF. Los resultados también conducen a los autores de la invención a presumir que un polímero con contenido en carbono podría ser añadido a un EAF y podría quemarse parcialmente como un combustible y para producir residuos de material carbonáceo que podrían dar origen a la espumación de la escoria y/o reducción de óxidos de metales y/o recarburización.

### 25 **Ejemplo 3**

Los autores de la invención sometieron a ensayo entonces la adición de plásticos residuales a un proceso en el EAF en lugar de al menos algo de la fuente tradicional de carbono (p. ej. coque). Los siguientes materiales brutos se reunieron para simular los materiales brutos alimentados a un EAF.

#### 30 Materiales brutos

Para realizar experimentos de espumación de la escoria comparativos se emplearon los siguientes materiales carbonáceos, plásticos y escoria.

35 Materiales carbonáceos: grafito; coque; residuo generado a partir de una mezcla (1:1) de grafito y plástico (el espectro XRD de este residuo se proporciona en la Figura 6). La relación de 1:1 puede variar de un horno a otro.

Material plástico: se obtuvo polietileno de baja densidad lineal (LLDPE – siglas en inglés) para representar el constituyente principal del residuo de plástico. Tamaños de partículas de las muestras de polietileno utilizadas eran menores que 100 micrómetros.

40 Escoria: se preparó la siguiente composición de escoria (% en peso): 30,48% de CaO; 11,72% de MgO, 13,34% de SiO<sub>2</sub>; 5,24% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 33,33% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5,24% de MnO.

Se preparó un sustrato de polvos de material carbonato mediante prensado hidráulico bajo una presión de  $2.2 \times 10^8$  Pa. Los polvos de grafito y coque se utilizaron en la forma en la que fueron suministrados. El proceso de preparación de la mezcla de grafito y plástico se describe en el Ejemplo 4.

45 La escoria se preparó calentando la mezcla homogénea de ingredientes de óxido en la relación de mezcladura mostrada antes hasta 1650°C, y luego colando la masa fundida en un molde de cobre después de alrededor de 30 min desde la fusión completa.

#### 50 Aparato

Para llevar a cabo experimentos de gota sésil se utilizó el horno horizontal de la Figura 1. La dimensión del tubo del horno cerámico era un diámetro interno Ø de 50 mm y 1000 mm de longitud. Se insertó un soporte para probetas hecho de alúmina o grafito en el tubo a través de una cubierta del horno. El aparato permitía mantener a la muestra en la zona fría del horno antes de calentar el horno hasta la temperatura deseada, típicamente 1550°C en este Ejemplo.

#### Proceso experimental

60 Para investigar la espumación de la escoria, se investigaron primeramente interacciones escoria/carbono en el horno de resistencia de tubo horizontal. El conjunto escoria/carbono se mantuvo en la zona fría del horno hasta alcanzar la temperatura deseada (1550°C) y se equilibró en la zona caliente del horno. El conjunto se insertó luego en la zona

caliente a la temperatura deseada. Este proceso eliminó cualquier reacción que pudiera producirse a bajas temperaturas y que influyera posiblemente sobre los fenómenos a estudiar a la temperatura de interés. El tubo del horno se purgó con argón a lo largo de la duración del experimento.

5 El comportamiento de espumación del sistema de escoria/carbono se investigó de nuevo utilizando una técnica de gota sécil estrechamente controlada y visualmente vigilada. De nuevo, se utilizó la cámara CCD equipada con una lente IRIS para capturar los fenómenos in situ en vivo en el horno. De nuevo, la salida de la cámara se canalizó a un VCR y monitor de TV para registrar todo el proceso en función del tiempo. Las imágenes que exhiben el contacto entre la escoria y el material carbonáceo se capturaron a lo largo del tiempo, desde la cinta de vídeo a un ordenador, 10 utilizando un digitalizador de vídeo. De nuevo, se utilizó el generador de tiempo-fecha para exhibir la duración del proceso. El software del ordenador determinó el volumen a partir de las imágenes capturadas sobre la base de un ejercicio de ajuste de la curva.

15 Polvo de escoria (aproximadamente 0,20 g) se dispuso sobre el sustrato de materiales carbonáceos que se mantuvo sobre el soporte de probetas. Una vez alcanzada la temperatura del horno deseada, el soporte de probetas se empujó desde la zona fría a la zona caliente del horno para iniciar el experimento. Todo el proceso de reacción se vigiló mediante la cámara CCD y se registró utilizando una cinta de vídeo. Las imágenes se analizaron adicionalmente para calcular el volumen de la muestra. A lo largo del experimento, se hizo fluir gas argón a un caudal de 1 l/min. El gas de escape se hizo pasar a través de un analizador IR con el fin de obtener el contenido en 20 CO y CO<sub>2</sub>, el cual se puede utilizar para evaluar la velocidad de la reacción.

#### Resultados experimentales

25 Los experimentos se realizaron para investigar el comportamiento de la espumación de la escoria provocada por la reacción entre óxido de hierro en la escoria y los materiales carbonáceos: grafito, mezcla de grafito/residuos de plástico, y coque. En las Figuras 4A a 4C se muestran imágenes típicas.

Se observó que la reacción entre el grafito y la escoria producía la espumación más vigorosa de la escoria. El volumen de la gota de la escoria espumada era máximo tal como se muestra claramente en la Figura 4A.

30 Durante la reacción de la mezcla de 50% de grafito/50% de plástico se desprendieron burbujas de la gotita de escoria. La aparición de un fenómeno de espumación de la escoria en el caso de la mezcla de grafito/plástico se estableció sobre la base de una imagen de visualización a alta temperatura tal como se muestra en la Figura 4B, y también sobre la base de la generación de CO en el gas de escape, indicando una reducción de óxido de hierro. 35 Esto indicó que podían añadirse plásticos a un EAF, quemarse como un combustible y los residuos carbonáceos podían producir la espumación de la escoria y/o la reducción de óxidos de metales y/o efectos de recarburización.

#### **Ejemplo 4**

##### Proceso de preparación de la mezcla de grafito/plásticos

Se realizó una reacción en fase gaseosa a alta temperatura de una mezcla de plástico-grafito utilizando un horno de tubo de goteo (DTF – siglas en inglés). El horno de tubo de goteo se muestra esquemáticamente en la Figura 5.

45 Cada ensayo realizado en el DTF se completó a 1200°C y, una vez que el horno había alcanzado esa temperatura de funcionamiento, se introdujeron gases oxígeno y nitrógeno en el horno a los caudales deseados. Los caudales de gas y las composiciones se controlaron durante estos experimentos utilizando un controlador de flujo automatizado. Agua de refrigeración se hizo circular a través del inyector del horno durante cada uno de los ensayos con el fin de evitar un sobrecalentamiento y la aparición de reacciones antes de la interacción de oxígeno y los materiales 50 combustibles inyectados en la zona de reacción del horno. El colector servía también para el fin de retener carbones de leña no quemados, generados durante cada uno de los experimentos.

Una mezcla de plástico-grafito se introdujo en el reactor experimental utilizando un alimentador de material seco a través de una sonda de alimentación enfriada por agua. Se utilizó una mezcla de oxígeno y gas nitrógeno para transportar los reaccionantes sólidos de plástico y grafito a la zona de reacción. Los detalles experimentales eran como sigue:

<b>Temperatura (°C)</b>	1200
<b>Caudal total de gas (L/min)</b>	1,0
<b>Tasa de alimentación</b>	10,0
<b>Tiempo de permanencia de las partículas (segundos)</b>	~ 1-2
<b>Pureza del gas (%)</b>	N <sub>2</sub> = 99,5

	O <sub>2</sub> = 99,0
<b>Composición del gas</b>	24% de O <sub>2</sub> , resto
<b>Tamaño de las partículas de grafito</b>	< 100 μm
<b>Tamaño de las partículas de plástico</b>	< 100 μm

Este experimento indicó que, bajo condiciones de funcionamiento que pueden simular aquellas en un EAF, el plástico podía ser cargado en un EAF, quemarse como un combustible y formar residuos carbonáceos útiles para provocar la espumación de la escoria, la reducción de óxidos de metales y la recarburización de hierro fundido.

5

### Ejemplo 5

Un fenómeno de espumación de la escoria en el EAF que acompaña a la reacción entre la escoria y materiales carbonáceos

10

Se llevaron a cabo experimentos para estudiar una muestra de escoria en el EAF real, más particularmente, los fenómenos de espumación de la escoria durante la reacción entre la escoria y los sustratos carbonáceos bajo una atmósfera de argón inerte. La composición de la escoria era 27,0% de CaO; 40,3% de FeO, 7,9% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 8,8% de MgO; 10,9% de SiO<sub>2</sub> y 4,8% de MnO. La basicidad de la escoria era 2,5 (% de CaO/% de SiO<sub>2</sub>). Para los experimentos se eligieron tres materiales carbonáceos. Éstos eran grafito puro; un residuo carbonáceo procedente de una mezcla de grafito y plástico con una relación de mezcla de 1:1; y coque industrial. La relación de 1:1 puede variar para diferentes EAFs. Se utilizó para cada una de las operaciones alrededor de 0.075 g de escoria. La temperatura se ajustó a 1550°C.

15

20

La Figura 6 muestra el espectro XRD del residuo generado a partir de una mezcla de 50% de plástico y 50% de grafito después de haber reaccionado en un horno de tubo de goteo (DTF). Los picos del plástico y grafito se pueden observar claramente.

25

El fenómeno de la espumación de la escoria/carbono se registró utilizando una cámara CCD. La Figura 7 muestra las imágenes típicas de gotas de escoria espumada que reaccionan con diversos sustratos carbonáceos en el tiempo de aproximadamente 200 s. La espumación de la escoria era la más vigorosa en el caso de la reacción con el sustrato de grafito. A pesar de que la reacción entre la escoria y el coque y la mezcla de plástico y grafito no era tan vigorosa, los resultados indicaban que el plástico podría actuar tanto como agente de espumación de la escoria como reductor con la escoria de EAF.

30

Los contenidos en CO y CO<sub>2</sub> en el gas de escape del DTF se analizaron utilizando un analizador IR. Los resultados se muestran en las siguientes Figuras 8, 9 y 10. En el caso de un sustrato de grafito, los contenidos en gas de escape de CO y CO<sub>2</sub> eran sólo ligeramente mayores que en los otros casos. Esto implicaba que se producía un desprendimiento de gas debido a una reducción de óxido de hierro con los tres materiales carbonáceos y los tres contribuían en la espumación de la escoria.

35

Además, los resultados del Ejemplo 5 están en concordancia con los resultados de los Ejemplos previos, a pesar de la diferencia en la composición entre la escoria industrial y las escorias preparadas en el laboratorio.

40

### Ejemplo 6

Se investigó la eficacia de combustión de plásticos residuales para someter a ensayo la idoneidad de plásticos residuales como un combustible en un EAF u otro horno no de tipo de alto horno. La eficacia de la combustión se evaluó utilizando el horno de tubo de goteo (DTF) de la Figura 5 utilizando las mismas condiciones que en el Ejemplo 4. El % en C en las muestras se determinó antes y después de cada operación del ensayo (es decir, después de que cada una de las muestras había pasado a través del DTF). Se utilizó un analizador del contenido de carbono LECO para la determinación del contenido en carbono.

45

Cada una de las muestras comprendía niveles variables de plástico residual en polvo mezclado con coque en polvo, partiendo de 0% en peso de plástico y desplazándose hasta el 50% en peso de plástico. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

50

% en peso de plástico con coque	% en peso de C antes	% en peso de C después	Eficacia de la Combustión (%)
0	80,43	80,39	0,25
20	82,376	80,921	9,26
30	82,79	81,736	6,97

40	83,723	82,27	9,79
50	84,372	83,145	8,63

La tabla lista la eficacia de combustión resultante (última columna) y también lista el análisis bruto en % en peso de C. La disminución en el % en peso de C es el resultado de la reacción del carbono (combustión) para producir monóxido de carbono y gas dióxido.

5 Los resultados demuestran que la eficacia de la combustión del coque es muy deficiente, pero cuando plásticos residuales se mezclan con el coque aumenta la eficacia de la combustión. Además, el residuo que queda después de la combustión participa luego en otras reacciones en el EAF u otro horno no de tipo alto horno.

### 10 Ejemplo 7

Para investigar la función de plásticos residuales como un re-carburante en la producción de ferroaleaciones, se investigó la disolución de carbono de un residuo carbonáceo en un horno de inducción a escala de laboratorio tal como se representa esquemáticamente en la Figura 11.

15 La temperatura del horno se controló para conseguir una temperatura del baño de hierro fundido de 1550°C (para simular una temperatura de funcionamiento del EAF). A este respecto, agua de refrigeración se hizo circular a través de una configuración de intercambiador de calor "con camisa" que rodea al horno durante el proceso, con el fin de evitar un sobrecalentamiento y para mantener una temperatura del baño generalmente constante. Se creó una atmósfera de nitrógeno por encima del baño fundido a través de la entrada de gas N<sub>2</sub>.

20 Un polvo de plástico residual se alimentó directamente al horno, alimentándose el polvo sobre el baño de hierro fundido. Este plástico se quemó para producir un residuo carbonáceo, residuo que podría funcionar como un re-carburante. Como alternativa, sobre el baño de hierro fundido se podría introducir plástico residual procedente, p. ej., del horno de tubo de goteo de la Figura 5.

El método de cubrición con carburante era la estrategia estándar utilizada para estudiar la disolución de carbono. A este respecto, el material carbonáceo se depositaba realmente sobre la parte superior del baño de metal y formaba una cubierta de carburante. Esto se debe a que, en el proceso experimental, el material de plástico residual se alimenta sobre la parte superior del baño de metal. Un termopar para medir la temperatura del baño junto con un tubo de muestreo de cuarzo para la separación de muestras de metal, para medir progresivamente la disolución de carbono a lo largo del tiempo, se extendía a través de la cubierta de carburante. El analizador con contenido en carbono LECO se utilizó después para analizar en contenido en carbono de las muestras de metal extraídas.

35 Los resultados de la disolución de carbono se presentan en la Figura 12. En la Figura 12 se puede observar que inicialmente (tiempo = 0) el baño tenía un contenido en carbono disuelto en peso de 1,67%. Después se añadió el residuo de plástico y el contenido en carbono disuelto aumentó a 2,97%, y luego se niveló en torno al nivel del 3%. En el tiempo = 25 minutos, se añadió residuo de plástico adicional al baño, y el contenido en carbono disuelto aumentó a 3,89% a T = 30 minutos.

40 Este experimento demostró que el residuo de plástico podría utilizarse como un re-carburante eficaz y que se podrían alcanzar niveles progresivamente incrementados de carbono disuelto con la introducción progresiva de residuo de plástico. En un EAF u otro horno no de tipo alto horno, el residuo para la recarburización sería generado típicamente al introducir el propio plástico residual en el horno, permitiendo que se queme para producir un residuo carbonáceo, y facilitando luego su mezcla en el baño de metal fundido y dejándole tiempo para aumentar el contenido en carbono a un nivel deseado. El plástico residual puede reemplazar re-carburantes más costosos tales como carbón antracita y grafito.

### 50 Ejemplo 9

#### Eficacia de la combustión de mezclas de coque/plásticos

55 Coque y sus mezclas con plásticos (hasta 50% en peso) se quemaron en el DTF a 1200°C en una atmósfera oxidante que contenía 20% de O<sub>2</sub>. La tasa de alimentación era de alrededor de 0,0278 g/s. Se recogieron residuos carbonáceos y se midió su contenido en carbono. Asumiendo una pérdida despreciable de ceniza durante la combustión en el DTF, la eficacia de combustión,  $\eta$  se calculó como:

$$\eta = \left(1 - \frac{A_0}{A_i} \frac{C_i}{C_0}\right) \times 100\%$$

en que  $A_0$  y  $A_i$  eran el contenido en cenizas antes y después de la combustión,  $C_0$  y  $C_i$  representaban, respectivamente, el contenido en carbono antes y después de la combustión en el DTF, respectivamente. Resultados experimentales sobre la eficacia de combustión de mezclas de coque/plásticos se muestran en la Figura 14. Se utilizó una escala logarítmica a lo largo del eje y, debido a las grandes variaciones en la eficacia de la combustión.

En este ejemplo, se observó que la eficacia de la combustión global de las mezclas de coque/plásticos era casi cuarenta veces la eficacia de combustión del coque solo, es decir, -10 para mezclas de coque-plásticos frente a 0,25 para coque. Una eficacia de la combustión elevada de mezclas de coque/plásticos podría atribuirse, en cierta medida, a una gran liberación de componentes volátiles durante la combustión de los plásticos. Mientras que las mezclas de coque y plásticos tenían, generalmente, una eficacia de la combustión mucho más alta que el coque, no se observó tendencia bien definida sobre el efecto de la relación de mezclado. Sin embargo, no observó degradación alguna en la eficacia de la combustión con un componente de plástico creciente.

### 15 Ejemplo 10

#### Espumación de la escoria en residuos carbonáceos

Residuos carbonáceos procedentes de mezclas de coque y plástico después de la combustión en el DTF se prensaron en un troquel bajo una carga de 9 toneladas/cm<sup>2</sup> y se utilizaron como un sustrato para experimentos de espumación de la escoria. Después de alcanzar las temperaturas deseadas, la escoria comenzaba a fundir y el óxido de hierro presente en la escoria comenzaba a reaccionar con el sustrato carbonáceo para desprender gases CO y CO<sub>2</sub> y hierro metálico. El desprendimiento de gases CO y CO<sub>2</sub> a través de la fase de la escoria condujo a la espumación de la escoria. El proceso de reacción se vigiló utilizando una cámara CCD y se registró en un disco DVD para el análisis ulterior de las imágenes. La Figura 15 muestra las imágenes típicas de una reacción entre una escoria y una mezcla de 30% de plástico + 70% de coque. Después de haberse fundido la escoria, se observó que las burbujas de gas se desprendían inmediatamente a lo largo de la fase de escoria. La gotita de escoria rodó sobre el sustrato vigorosamente debido a la generación y a la ruptura de las burbujas de gas. Después de aproximadamente 600 s, la gotita de escoria se ralentizó gradualmente con una reducción considerable en la generación de gas.

También, durante la reacción entre la escoria y el sustrato de coque/plástico, FeO en la escoria y C en el sustrato reaccionaron para generar gas CO y CO<sub>2</sub>. Las concentraciones de estos gases se miden en la mezcla de gases de escape utilizando un espectrómetro IR.

Los contenidos en gas CO y CO<sub>2</sub> típicos resultante se muestran en la Figura 16. Puede observarse que tanto los contenidos en gas CO como CO<sub>2</sub> aumentaban intensamente hasta valores máximos, se estabilizaban durante cerca de 300 segundos y luego disminuían con el tiempo de reacción. En el gas de escape se detectó mucho menos gas CO<sub>2</sub> que CO. El volumen de CO y CO<sub>2</sub> desprendido, obtenido a partir del análisis del gas de escape, se convirtió entonces en el número de moles utilizando la ecuación de los gases estándar. El número de moles de oxígeno separado reflejaba la cinética de las reacciones de reducción entre la escoria y el material carbonáceo, tal como se muestra en la Figura 17.

Los resultados indicaban que las reacciones de reducción de la escoria con coque eran mucho más rápidas que las correspondientes reacciones con mezcla de plástico-coque, dando como resultado un volumen mayor de los gases emitidos. Estos gases dieron lugar a la espumación de la escoria y provocaban cambios en el volumen de la gotita de escoria.

El gas retenido en la gotita de escoria se midió después en términos de  $V_t/V_0$ , en que  $V_t$  es el volumen de la gotita de escoria en el tiempo  $t$  y  $V_0$  es el volumen inicial. La Figura 18 representa  $V_t/V_0$  como una función del tiempo para el coque y una mezcla de 30% de plástico + 70% de coque. Los resultados demostraron que se observaban niveles de espumación de la escoria mucho más elevados para mezclas de 30% de plástico + 70% de coque en comparación con el coque. La gotita creció mucho más en tamaño en el caso de la mezcla de coque/plástico, y este aumento de tamaño se mantuvo durante un período de tiempo mucho mayor para la mezcla de plástico en comparación con el coque. En gran medida, esto podría deberse más bien a una lenta velocidad de las reacciones entre la mezcla de plástico y la escoria (Figura 17), dando como resultado una lenta velocidad de emisión de gas, resultando así en burbujas más pequeñas y en una espuma retenida a lo largo de períodos mayores. Para el coque, el crecimiento de la burbuja era rápido, escapando elevados niveles de gas a partir de la gotita de escoria.

Las investigaciones en los Ejemplos 9 y 10 sobre el coque y una gama de mezclas de coque/plástico demostraron, además, la viabilidad de utilizar plásticos residuales en la producción de acero en el EAF. Mezclas de coque/plásticos mostraban una combustión mucho mejor que el coque puro. Se encontró que las características en

la espumación de la escoria de mezclas de coque/plásticos eran mejores que las del coque puro. La gotita de escoria mostró un incremento mucho mayor en volumen, y el cambio en volumen se mantuvo durante un mayor período de tiempo. Los resultados indicaban también que la sustitución parcial de coque por mezclas de coque/plástico podría potenciar la combustión de carbono.

5

### Ejemplo 11

En un proceso experimental similar al descrito en el Ejemplo 3 y tal como se representa en la Figura 4, se investigaron las características de espumación de un sistema de coque/escoria y un sistema de 50% de coque/50% de plástico/escoria. En este caso, el plástico era un polietileno de alta densidad (HDPE – siglas en inglés), con un tamaño de partículas menor que 100 micrómetros. La escoria era similar a la del Ejemplo 5, y para los dos sistemas se emplearon respectivamente 0,078 gramos y 0,092 gramos de escoria. Las operaciones se realizaron a tiempos diferentes, por lo tanto los pesos de la escoria no son exactamente los mismos. Sin embargo, esta diferencia en el peso no afecta al resultado experimental.

10

15

Las Figuras 13 A y B representan una comparación lado a lado de los comportamientos de la espumación de la gota de los dos sistemas en los intervalos de tiempo 0, 30, 45, 60, 90, 150, 210 y 300 segundos. Puede observarse que el sistema de coque/plástico/escoria tenía una característica de espumación relativamente más rápida que el sistema de coque/escoria.

20

En otras palabras, plásticos tales como HDPE también pueden ofrecer una característica espumación de la escoria potenciada a un EAF u otro horno no tipo alto horno, indicando que muchos otros plásticos pueden ofrecer un comportamiento potenciado similar.

25

### Ejemplo 12

El autor de la invención concibió y propuso un índice para indicar la idoneidad de un plástico para su re-utilización en la producción de ferroaleaciones y, como un combustible en otros hornos no de tipo alto horno. Al índice se le aludió como el Índice Verde para Plásticos (o índice "GIP" – siglas en inglés). El autor de la invención concibió que el índice podría también utilizarse en un sentido general como refiriéndose a la aptitud de reciclaje de plástico y continuar seguir siendo conocido como el índice GIP.

30

De este modo, se podía establecer un mecanismo mediante el cual el público en general podría reconocer la capacidad de un plástico a ser reciclado, por ejemplo en la producción de ferroaleaciones tales como la producción de acero. El autor de la invención observó que el sistema actual utilizado para la identificación de tipos de plástico no proporciona información alguna en relación con la capacidad de reciclaje del plástico. El sistema actual meramente proporciona información relacionada con el tipo de plástico (p. ej. número 1 para PET, etc.).

35

Finalmente, el autor de la invención presumió que el índice GIP podría entonces constituirse desarrollando un índice GIPS relacionado, en que la "S" representa e indica la idoneidad del plástico para su uso en la fabricación de acero.

40

En general, los experimentos también indicaron que para la producción de ferroaleaciones distintas de acero, y utilizando un EAF, un plástico no aglomerado podría ser cargado en el horno, podría quemarse como un combustible y podría formar residuos carbonáceos útiles para la espumación de la escoria y para provocar una reducción del óxido de metal y la recarburización de metal fundido (p. ej. hierro).

45

Además, los experimentos también indicaban que para hornos de recalentamiento y similares, el plástico no aglomerado podría ser cargado en el horno, por ejemplo, como un suplemento para otros combustibles tales como gas natural, y podría seguir quemándose todavía como un combustible. Esto es especialmente así a las temperaturas elevadas (mayores que 1000°C) utilizadas en hornos tales como hornos de recalentamiento en operaciones de formación de acero.

50

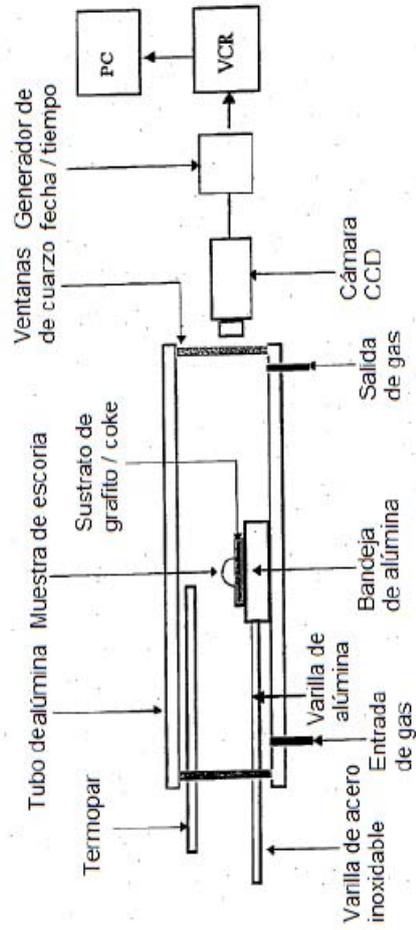
Así, se proporcionan medios eficaces para utilizar y consumir las grandes cantidades de plásticos residuales en la sociedad.

55

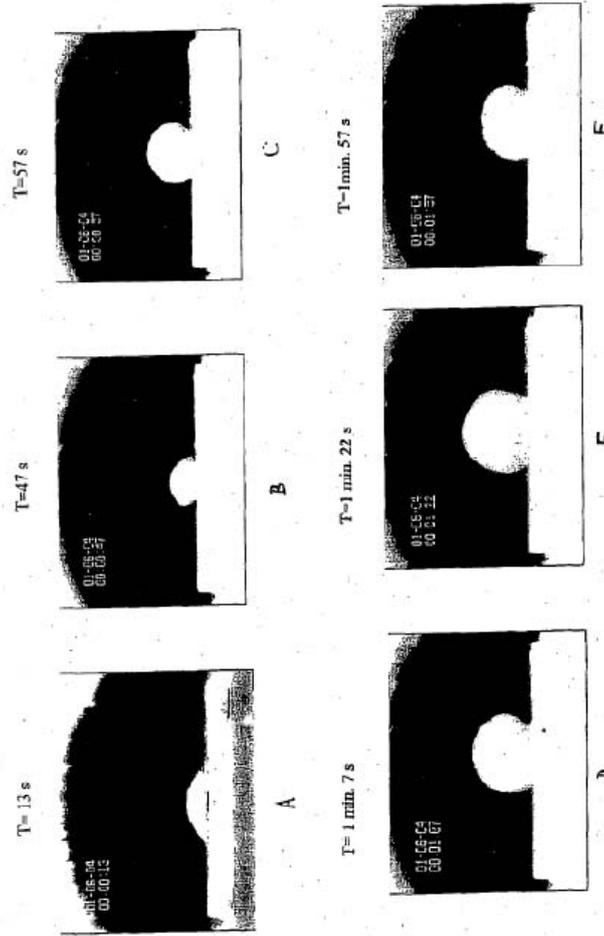
Aun cuando se ha descrito un cierto número de realizaciones específicas, debería apreciarse que el método para producir una ferroaleación puede configurarse de muchas otras formas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Un método de espumación de la escoria formada en un horno de arco eléctrico durante la producción de una ferroaleación, comprendiendo el método la etapa de cargar el horno inyectando un polímero con contenido en carbono, no aglomerado, en la escoria de la ferroaleación situada en una zona caliente del horno, de modo que el polímero funciona como un precursor de la espumación de la escoria generando gas CO a través de la reducción de óxido de hierro en la escoria mediante carbono y la oxidación de carbono a partir del polímero con contenido en carbono.
- 10 2.- Un método según la reivindicación 1, en el que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga en el horno de modo que se quema al menos parcialmente y produce un residuo de la combustión carbonácea, oxidándose el residuo luego para provocar la formación de espuma de la escoria.
- 15 3.- Un método según la reivindicación 2, en el que el residuo también actúa como un agente reductor o funciona como un re-carburante.
- 4.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, además del polímero con contenido en carbono, no aglomerado, en el horno se carga otra fuente de carbono.
- 20 5.- Un método según la reivindicación 4, en el que la otra fuente de carbono es carbono, coque, carbón de leña, carbón vegetal y/o grafito cargado en el horno con el polímero con contenido en carbono.
- 25 6.- Un método según la reivindicación 4 ó 5, en el que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, y otra fuente de carbono se cargan en el horno en una relación ponderal de 1:1.
- 7.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, es un plástico residual.
- 30 8.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el polímero con contenido en carbono comprende sólo los átomos C, H, y, opcionalmente, O.
- 9.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga en el horno en forma de partículas de polímero.
- 35 10.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la ferroaleación producida es acero.
- 11.- Uso de un polímero con contenido en carbono, no aglomerado, como un agente de la espumación de la escoria en la producción de una ferroaleación en un horno de arco eléctrico.
- 40 12.- Uso según la reivindicación 11, en donde la producción de la ferroaleación se consigue por el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 45 13.- Un método según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que antes de cargar el horno con el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, el método comprende las etapas de:
- cargar el horno con material de alimentación para la ferroaleación; y
  - calentar el material de alimentación en el horno a un estado fundido y para formar una escoria sobre una superficie fundida de la aleación/material de alimentación.
- 50 14.- Un método según la reivindicación 13, en el que el polímero con contenido en carbono, no aglomerado, se carga con el fin de que se queme en el horno y libere energía calorífica a la aleación/material de alimentación fundido, y para generar un agente que espume la escoria.
- 55 15.- Un método según la reivindicación 14, en el que, además de la espumación de la escoria, el polímero con contenido en carbono, no aglomerado:
- provoca una reducción química de cada uno de los óxidos de metal en la escoria para producir la ferroaleación; y/o
  - re-carbura una aleación resultante de hierro y carbono.
- 60

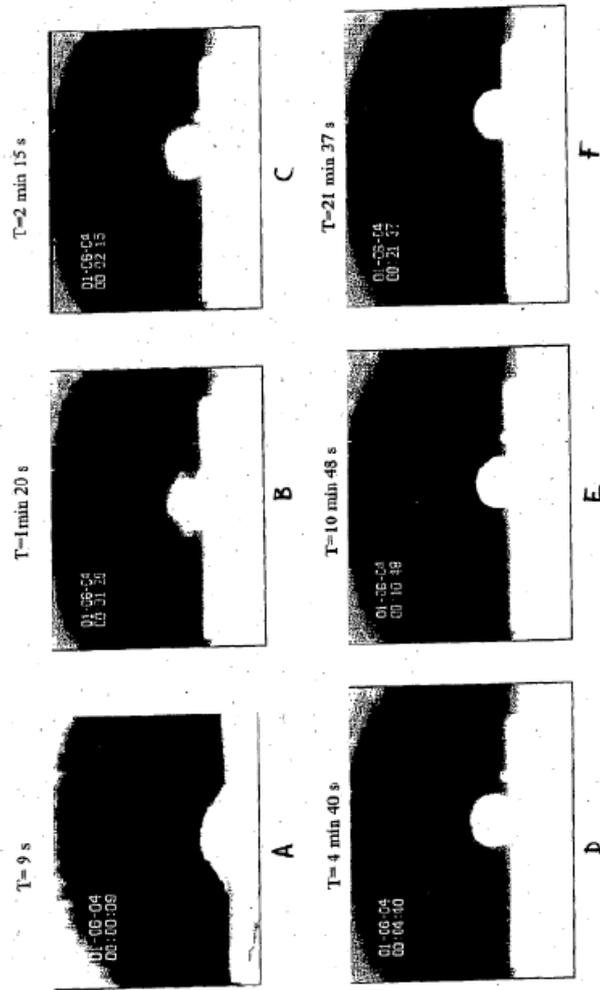


**Figura 1**  
Diagrama esquemático de la disposición experimental



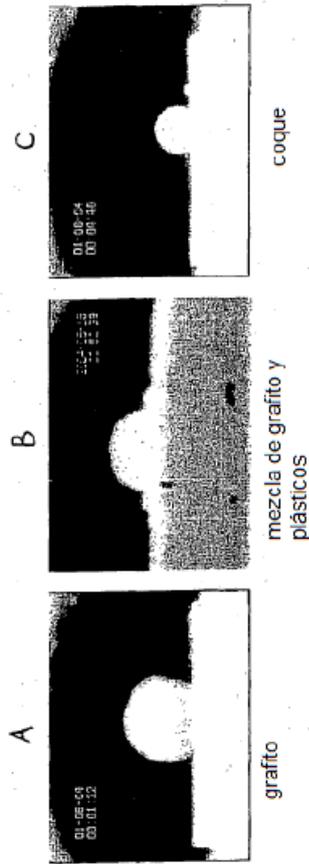
Espumación de la escoria en función del tiempo para el sistema de grafito / escoria a 1550°C

FIG.2



Espumación de la escoria en función del tiempo para el sistema de coque / escoria a 1550°C

FIG. 3



Imágenes de la espumación de la escoria provocada por diversos materiales carbonáceos

FIG. 4

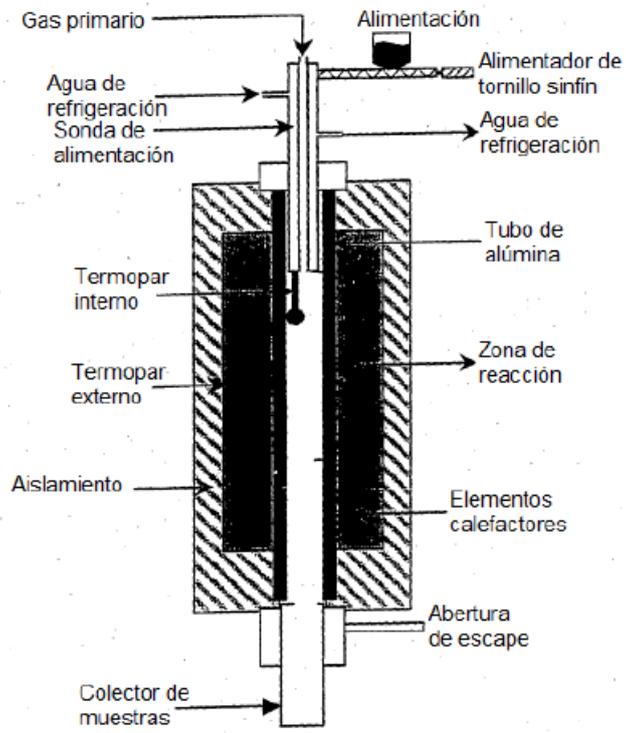
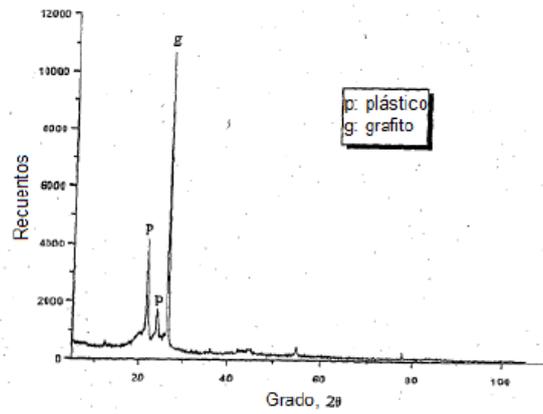
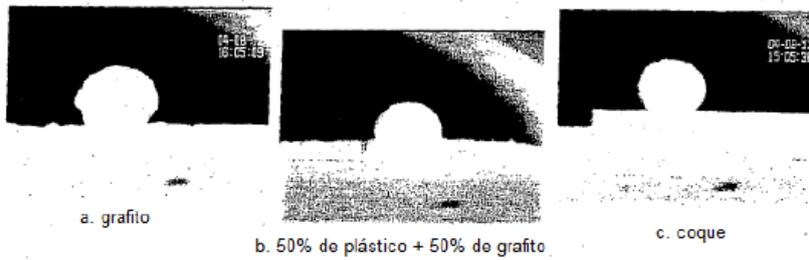


FIG. 5



Espectro XRD de mezcla de 50% de plástico + 50% de grafito

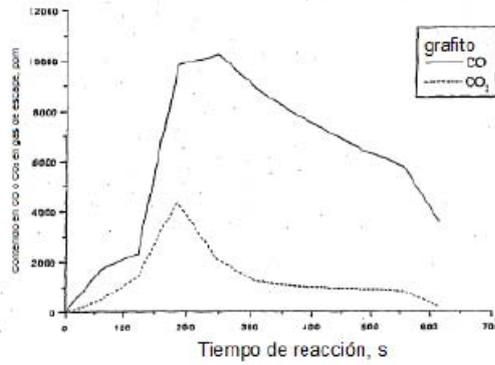
FIG. 6



Imágenes de la espumación de la escoria provocada por diversos materiales carbonáceos

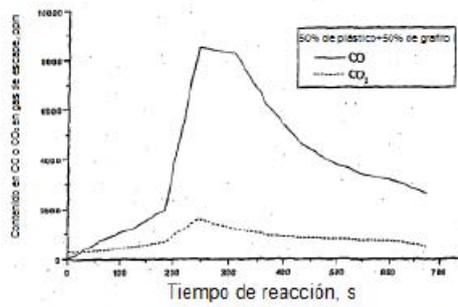
FIG. 7

FIG. 8

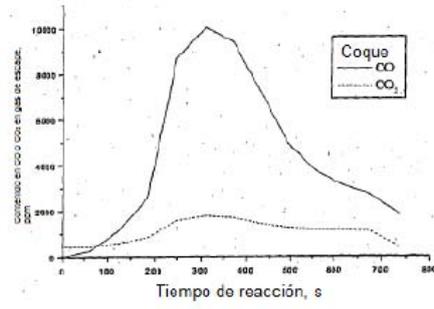


Resultado IR para la reacción entre el sustrato de grafito y la escoria

FIG. 9



Resultados IR para la reacción entre el sustrato de 50% de plástico + 50% de grafito y la escoria



Resultados IR para la reacción entre el sustrato de coque y la escoria

FIG. 10

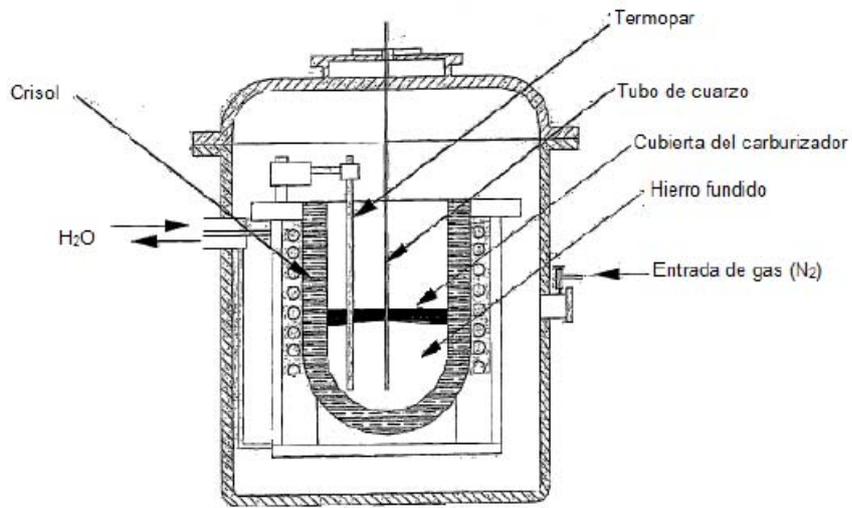


FIG. 11

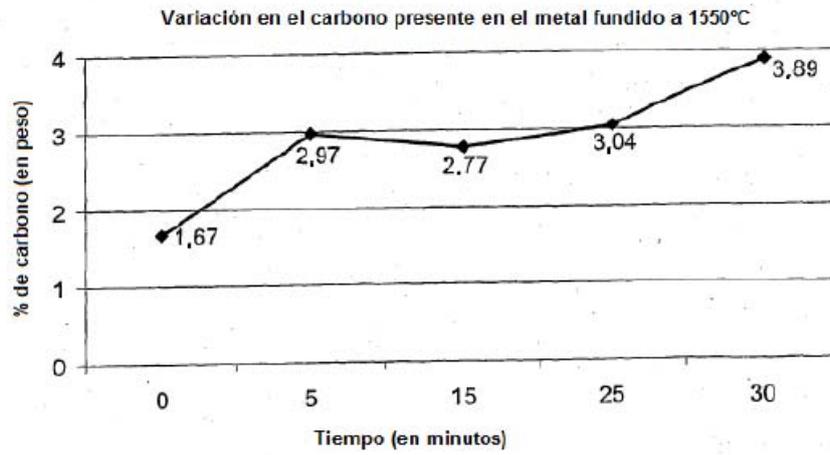


FIG.12

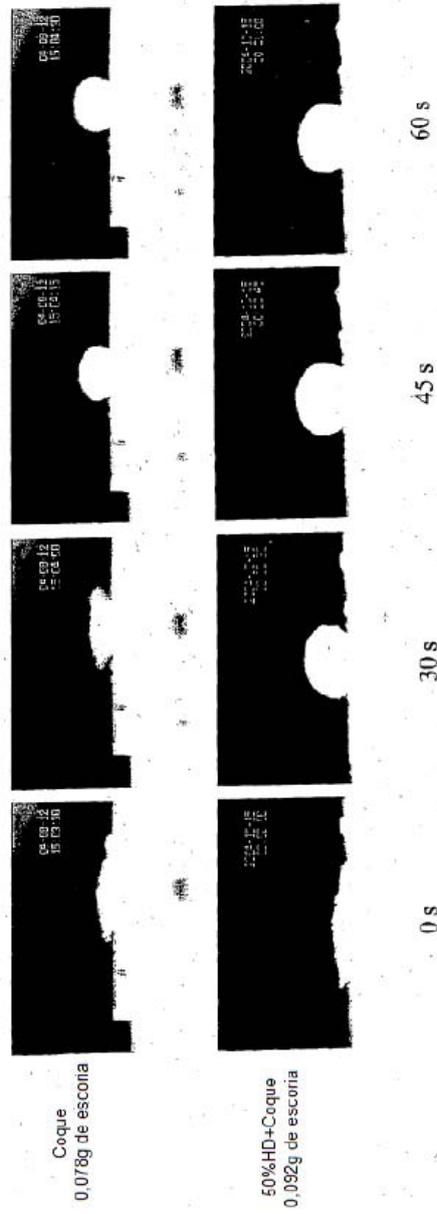


FIG.13A

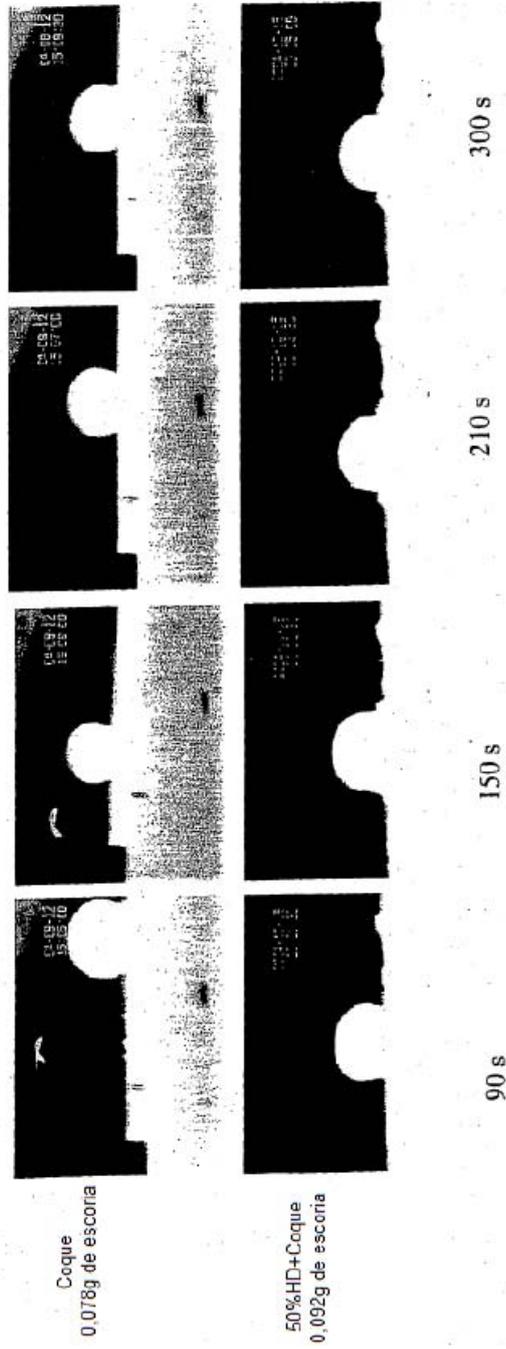


FIG. 13B

FIG.14

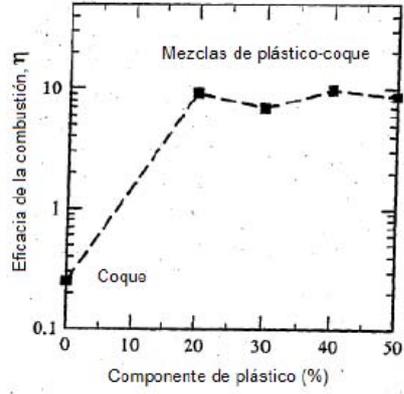


FIG.15

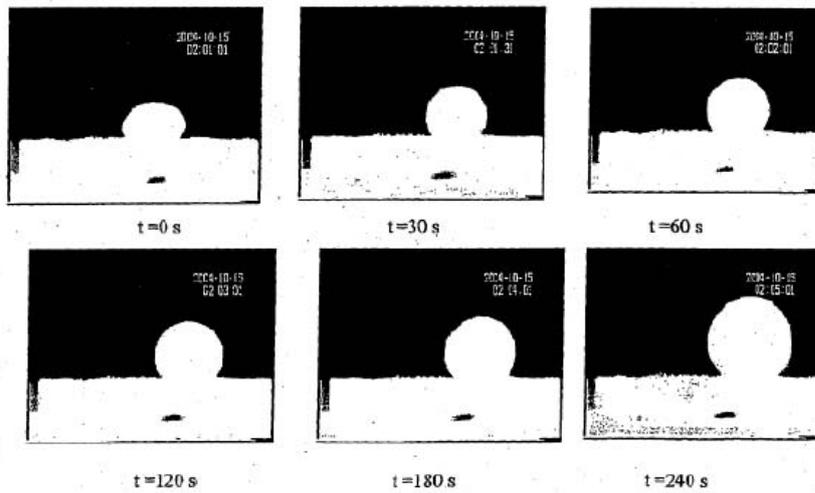


FIG.16

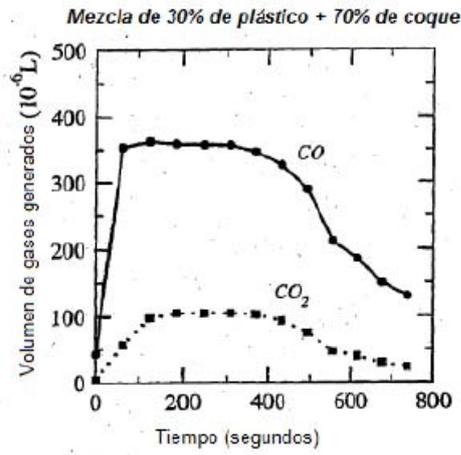


FIG.17

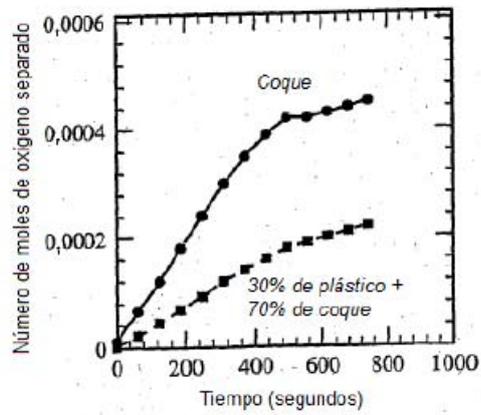


FIG. 18

