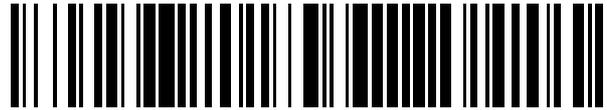


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 977**

51 Int. Cl.:

**C22B 1/14** (2006.01)

**C22B 1/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2009 E 09712738 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2247759**

54 Título: **Procedimiento y sistema para producir pepitas metálicas de hierro**

30 Prioridad:

**30.01.2008 US 24861**

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

**07.07.2015**

73 Titular/es:

**NU-IRON TECHNOLOGY, LLC (100.0%)  
1915 Rexford Road  
Charlotte, NC 28211, US**

72 Inventor/es:

**IWASAKI, IWAO;  
ENGLUND, DAVID J. y  
KIESEL, RICHARD F.**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI, Peter**

**ES 2 539 977 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**

Procedimiento y sistema para producir pepitas metálicas de hierro.

- 5 Esta solicitud de patente internacional reivindica prioridad y el beneficio de la solicitud de patente provisional americana número de serie 61/024861, presentada el 30 de Enero de 2008, cuya descripción se incorpora aquí por referencia.

**Antecedentes de la invención**

10

La presente invención se refiere a la reducción de material que contiene hierro, tal como mineral de hierro, a hierro metálico.

- 15 En el pasado se han descrito y/o utilizado muchos procesos diferentes de reducción de mineral de hierro. Los procesos pueden clasificarse tradicionalmente en procesos de reducción directa y procesos de reducción de fundición. Generalmente, los procesos de reducción directa convierten minerales de hierro en una forma metálica en estado sólido, por ejemplo, con el uso de hornos verticales de cuba (por ejemplo, hornos verticales a base de gas natural), mientras que la reducción de fundición convierte minerales de hierro en metal fundido en caliente sin el uso de altos hornos.

20

- Los procesos de reducción convencionales para la producción de hierro de reducción directa (DRI) implican calentar minerales de hierro procesados por debajo del punto de fusión del hierro, por debajo de 1200 °C (2372 °F), ya sea mediante procesos a base de gas o procesos a base de carbón. Por ejemplo, en el proceso a base de gas, la reducción directa de óxido de hierro (por ejemplo, minerales de hierro o gránulos de óxido de hierro) emplea el uso de un gas reductor (por ejemplo, gas natural reformado) para reducir el óxido de hierro y obtener DRI. Los procedimientos de fabricación de DRI han empleado el uso de materiales que incluyen carbono, tal como carbón y coque como agente reductor. Una composición típica de DRI es de un 90 a 95% de metalización y un 2-4% de ganga, pero no ha resultado práctico para los procesos de fabricación de acero como sustitución de desechos ya que su contenido en oxígeno y ganga aumenta el consumo de energía, aumenta el volumen de escoria, y requiere la adición de reactivos costosos.

25

- El hierro de reducción directa a base de gas explica más de un 90% de la producción mundial de DRI. Los procesos a base de carbón se utilizan generalmente para producir la restante producción de DRI. Sin embargo, en muchas regiones geográficas, el uso de carbón puede ser más deseable debido que a los precios del carbón pueden ser más estables que los precios del gas natural. Además, muchas regiones geográficas se encuentran muy lejos de las acerías que utilizan el producto procesado. Por lo tanto, el envío de unidades de hierro en forma de pepitas de hierro producidas mediante un proceso de reducción directa a base de carbón puede ser más deseable que el uso de un proceso de reducción de fusión.

30

- Otro proceso de reducción en un material que contiene hierro de reducción directa a base de gas o a base de carbón en pepitas metálicas a menudo se denomina reducción de fusión. Estos procesos de reducción de fusión, por ejemplo, implican generalmente las siguientes etapas de tratamiento: preparación de alimentación, secado, precalentamiento, reducción, fusión, enfriamiento, descarga de producto, y separación del producto hierro metálico/escoria. Estos procesos dan lugar a una reducción directa de material que contiene hierro en pepitas metálicas de hierro y escoria. Las pepitas metálicas de hierro producidas por estos procesos de reducción directa se caracterizan por un alto grado de reducción, cerca de un 100% de metal (por ejemplo, entre aproximadamente un 96% y aproximadamente un 97% de Fe metálico). Los porcentajes (%) que se dan aquí son porcentajes en peso salvo que se indique lo contrario.

35

- A diferencia del hierro de reducción directa (DRI) convencional, estas pepitas metálicas de hierro tienen un bajo contenido en oxígeno, ya que se trata de hierro metálico y tienen poca o ninguna porosidad. Estas pepitas metálicas de hierro también son bajas en ganga dado que el dióxido de silicio se ha eliminado como escoria. Estas pepitas metálicas de hierro son deseables en muchas circunstancias, tal como el uso en lugar de desechos en hornos de arco eléctrico. Estas pepitas metálicas de hierro pueden producirse también a partir de mineral de hierro taconita procesada, que puede contener un 30% de oxígeno y un 5% de ganga. Como resultado, con tales pepitas metálicas de hierro hay menos peso a transportar que con gránulos de taconita procesados y DRI. Además, por lo general, dichas pepitas metálicas de hierro son tan fáciles de manejar como los gránulos de taconita y DRI.

40

- Se han descrito y utilizado diversos tipos de hornos de solera para la reducción directa de pepitas metálicas de hierro. Un tipo de horno de solera, denominado horno de solera giratoria (RHF), se ha utilizado como horno para la reducción directa a base de carbón. Típicamente, el horno de solera giratoria tiene una solera anular dividida en una zona de precalentamiento, una zona de reducción, una zona de fusión, y una zona de enfriamiento, entre la posición de suministro y la posición de descarga del horno. La solera anular va soportada en el horno para moverse de manera giratoria. En funcionamiento, el material de partida reducible que comprende una mezcla de mineral de

45

50

hierro y el material reductor se carga en la solera anular y se dispone en la zona de precalentamiento. Después del precalentamiento, mediante el giro, la mezcla de mineral de hierro en la solera se desplaza hacia la zona de reducción, en la que el mineral de hierro se reduce en presencia del material reductor y se funde en pepitas metálicas de hierro, utilizando una o más fuentes de calor (por ejemplo, quemadores de gas). El producto reducido y fundido, después de que finalice el proceso de reducción, se enfría en la zona de enfriamiento en la solera giratoria, evitando la oxidación y facilitando la descarga del horno.

Un proceso de reducción directa de pepitas metálicas de hierro de ejemplo para la producción de pepitas metálicas de hierro se conoce como ITmk3® de *Kobe Steel*. En dicho proceso, unos gránulos secos formados utilizando mineral de hierro, carbón, y un aglomerante se introducen en un horno de solera giratoria. Al aumentar la temperatura en el horno, el concentrado de mineral de hierro se reduce y se funde cuando la temperatura alcanza entre 1450 °C y 1500 °C. Los productos resultantes se enfrían y después se descargan. Los productos intermedios son generalmente pepitas metálicas de hierro de tamaño de gránulos en forma de concha con la escoria en el interior, a partir de las cuales puede separarse el hierro metálico.

Se ha informado también que se ha utilizado otro proceso de reducción directa para realizar pepitas metálicas de hierro. Véase la patente americana nº 6.126.718. En este proceso, una capa de carbón de antracita pulverizado se extiende sobre una solera y en la misma se forma un patrón regular de hoyuelos. Después se coloca una capa de una mezcla de mineral de hierro y carbón sobre los hoyuelos y se calienta a 1500 °C. El mineral de hierro se reduce a hierro metálico, se funde, y se recoge en los hoyuelos como piedras de hierro y escoria. Después, los guijarros de hierro y escoria se rompen y se separan.

Ambos de estos procesos de reducción directa para la producción de pepitas metálicas de hierro han implicado la mezcla de materiales que contienen hierro y un reductor carbonoso (por ejemplo, carbón pulverizado). Ya sea con o sin bolas formando primero bolas secas, se introduce una mezcla de mineral de hierro/carbono en un horno de solera (por ejemplo, un horno de solera giratoria) y se calienta a una temperatura indicada entre 1450 °C y aproximadamente 1500 °C, para formar pepitas metálicas de hierro y escoria. El hierro metálico y la escoria pueden separarse, por ejemplo, con el uso de una acción mecánica suave y técnicas de separación magnética.

Un problema particular con las pepitas metálicas de hierro formadas mediante estos procesos de reducción directa anteriores era el contenido de azufre de las pepitas. El azufre es una impureza importante en pepitas metálicas de hierro de reducción directa. En el pasado, los reductores carbonosos utilizados en los procesos de reducción directa de mineral de hierro han producido generalmente pepitas metálicas de hierro con por lo menos un 0,1% o más en peso de azufre. Este elevado nivel de azufre ha hecho que las pepitas metálicas de hierro producidas por reducción directa sean indeseables en muchos procesos de fabricación de acero y, en particular, en los procesos de horno de arco eléctrico.

Se han realizado intentos para formar pepitas metálicas de hierro con un bajo contenido de azufre en estos procesos de reducción directa anteriores utilizando grandes cantidades de aditivos que contienen MgCO<sub>3</sub> o MgO. Con la fusión de estas pepitas se han dado problemas tales como un aumento del consumo de energía y un aumento de desgaste del material refractario, debido a los aumentos de la temperatura de fusión de la escoria provocados por el MgO en la escoria. Véase el documento EP 1 605 067.

#### Descripción de la invención

Se describe un procedimiento y un sistema para proporcionar diversas ventajas en los procesos de reducción en la producción de pepitas metálicas de hierro. Se disponen múltiples capas de una mezcla de hierro reducible con un aumento substancial de la productividad. Además, la capa de solera puede comprender por lo menos parcialmente una mezcla compuesta de carbón, carbón no coquizable o carbón no aglomerable. Se describe un procedimiento para utilizarse en la producción de pepitas metálicas de hierro que comprende disponer una solera que comprende material refractario; colocar una capa de material de solera que comprende por lo menos material carbonoso en el material refractario; colocar sobre la capa de material de solera un estrato de aglomerados que comprende material reductor y material que contiene hierro reducible y que tiene una dimensión mayor y una dimensión menor, donde el estrato tiene una profundidad media de por lo menos aproximadamente 1,7 veces en la dimensión menor, y calentar los aglomerados para formar, a partir de por lo menos algunos de los aglomerados, pepitas metálicas de hierro y escoria. El estrato de aglomerados puede colocarse en dos capas, tres capas, o más. Además, los aglomerados pueden comprender briquetas, extrusiones, bolas, u otras formas. Si se coloca en capas, las capas de aglomerados pueden comprender una densidad de por lo menos 2,5 lb/pies<sup>2</sup>/capa, o por lo menos 2,9 lb/ pies<sup>2</sup>/capa. Puede colocarse una sobrecapa de material carbonoso gruesa sobre por lo menos una parte de los aglomerados.

Se describe también un procedimiento para utilizarse en la producción de pepitas metálicas de hierro que comprende disponer una solera que comprende material refractario, colocar una capa de material de solera que comprende por lo menos un material carbonoso sobre el material refractario, colocar por lo menos dos capas de aglomerados que comprenden material reductor y material que contiene hierro reducible en la capa de material de

solera, y calentar los aglomerados para formar, a partir de por lo menos algunos de los aglomerados pepitas metálicas de hierro y escoria. Los aglomerados pueden colocarse en dos capas, tres capas, cuatro capas o más. Además, los aglomerados pueden comprender briquetas, extrusiones, bolas, o cualquiera de una pluralidad de otras formas. Las capas de aglomerados pueden presentar una densidad de por lo menos 2,5 lb/pies<sup>2</sup>/capa, o por lo  
 5 menos 2,9 lb/pies<sup>2</sup>/capa. Puede colocarse una sobrecapa de material carbonoso gruesa sobre por lo menos una parte de los aglomerados.

Puede incluirse carbón fino dividido como parte de la capa de material de solera. En una realización, la capa de material de solera puede comprender una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que  
 10 consiste en coque, carbón, residuo de carbón, y otro material carbonoso. En otra realización, la capa de material de solera puede comprender una mezcla de carbón no aglomerable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso. Todavía en otra realización, puede utilizarse en la mezcla carbón sub-bituminoso o carbón de *Powder River Basin*.

15 En una realización, el carbón finamente dividido puede comprender un veinticinco por ciento o menos de la capa de material de solera. En otras realizaciones, las partículas de carbón pueden comprender un cincuenta por ciento o menos de la capa de material de solera, un setenta y cinco por ciento o menos de la capa de material de solera, o cualquier cantidad de hasta o igual a un cien por cien de la capa de material de solera.

20 Además, o como alternativa, las partículas finamente divididas de carbón en la capa de solera pueden tener un tamaño de partícula inferior a malla 4 y, en algunas realizaciones, un tamaño de partícula entre malla 100 y 20 o malla 6. Debe evitarse tamaños de partícula inferiores a malla 100 ya que estos tamaños de partícula tienden a tener un mayor contenido en cenizas. El grosor y el tamaño de partícula del material carbonoso y otro en la capa de solera debe seleccionarse de modo que la capa de solera refractaria proteja la solera de la escoria y el metal fundido  
 25 formado durante la reducción de la mezcla reducible, a la vez que se evite opcionalmente la producción de un exceso de ceniza. El material carbonoso en la mezcla reducible también tiene un tamaño de partícula diferente del de los de la sobrecapa gruesa, pero para diferentes consideraciones. En la mezcla reducible, una consideración es el área superficial para una rápida reacción del material carbonoso con el material que contiene hierro reducible en producción comercial. Un tamaño de partícula de material carbonoso menor de malla 65 o menor de malla 100 en la  
 30 mezcla reducible es eficaz para una reducción eficiente de óxido de hierro para producir pepitas metálicas de hierro.

El material carbonoso grueso de la sobrecapa tiene un tamaño medio de partícula mayor que un tamaño medio de partícula de la capa de solera. Adicionalmente o alternativamente, la sobrecapa de material carbonoso gruesa puede incluir partículas discretas que tengan un tamaño mayor de aproximadamente malla 20 o superior a  
 35 aproximadamente malla 6, y en algunas realizaciones, la sobrecapa de material carbonoso gruesa puede tener partículas discretas con un tamaño entre aproximadamente malla 20 o aproximadamente malla 6 y aproximadamente 1/2 de pulgada (12,7 mm). El material carbonoso gruesa puede ser coque, carbón no aglomerable, residuo de carbón, o una combinación de uno o más de estos.

40 La sobrecapa de material carbonoso gruesa puede proporcionar entre un 50% y un 100% de cobertura de los aglomerados de mezcla reducible y puede ser de aproximadamente 1/2 de pulgada (12,7 mm) de grosor. Además, en algunas realizaciones del procedimiento, la cobertura de la sobrecapa de material carbonoso gruesa puede ser entre aproximadamente 0,5 libras/pies<sup>2</sup> (2,44 kg/m<sup>2</sup>) y aproximadamente 1 libra/pies<sup>2</sup> (4,88 kg/m<sup>2</sup>) de material carbonoso grueso, o entre aproximadamente 0,75 lb/pies<sup>2</sup> (3,66 kg/m<sup>2</sup>) y aproximadamente 1 lb/pies<sup>2</sup> (4,88 kg/m<sup>2</sup>) de  
 45 material carbonoso grueso sobre la mezcla reducible.

En algunas realizaciones del procedimiento descrito, la etapa de disponer una mezcla reducible sobre por lo menos una parte de la capa de material de solera puede comprender formar por lo menos una parte de la mezcla reducible con una cantidad predeterminada de material reductor de entre aproximadamente un 70 por ciento y  
 50 aproximadamente un 90 por ciento de dicha cantidad estequiométrica de material reductor necesario para la metalización completa. La cantidad estequiométrica de material reductor es la cantidad calculada de material carbonoso que se necesita para una metalización completa de hierro en la formación de pepitas metálicas de hierro a partir de una cantidad predeterminada de material que contiene hierro reducible.

55 El anterior resumen de realizaciones de la presente invención no pretende describir cada realización o cada implementación de la presente invención. Con referencia a la siguiente descripción detallada y a las reivindicaciones en combinación con los dibujos que se acompañan serán claras y se apreciarán ventajas junto con una comprensión más completa de la invención.

60 Posibles alternativas de la presente invención:

1. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro que comprende las etapas de:

disponer una solera que comprende material refractario,

## ES 2 539 977 T3

- colocar una capa de material de solera que comprende por lo menos material carbonoso sobre el material refractario,  
colocar sobre la capa de material de solera un estrato de aglomerados que comprende material reductor y material reducible de hierro y que tiene una dimensión mayor y una dimensión menor, donde el estrato tiene una profundidad  
5 media de por lo menos 1,7 veces la dimensión menor, y  
calentar los aglomerados para formar a partir de por lo menos algunos de los aglomerados pepitas metálicas de hierro y escoria.
2. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que el estrato  
10 comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
3. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
- 15 4. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que el estrato comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.
5. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.  
20
6. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 25 7. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 lb/pies<sup>2</sup>/capa.
8. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, que comprende además la  
30 etapa de proporcionar una sobrecapa de material carbonoso gruesa sobre por lo menos una parte de los aglomerados.
9. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados.  
35
10. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
11. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que el estrato  
40 comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.
12. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
- 45 13. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
14. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que el estrato  
50 comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
15. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en  
55 coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
16. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el carbón no coquizable es menos de un 75% de la capa de material de solera.
- 60 17. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 15, en el que el carbón no coquizable es menos de un 50% de la capa de material de solera.
18. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el carbón no coquizable es menos de un 25% de la capa de material de solera.

## ES 2 539 977 T3

19. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el carbón no coquizable es carbón sub-bituminoso.
20. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 19, en el que el carbón sub-bituminoso es carbón de *Powder River Basin*.
21. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
- 10 22. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
23. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el estrato comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.
- 15 24. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
25. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 20 26. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 15, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y donde una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 25 27. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 8, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no aglomerable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
- 30 28. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 75% de la capa de material de solera.
29. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 50% de la capa de material de solera.
- 35 30. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 25% de la capa de material de solera.
- 40 31. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
32. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
- 45 33. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que el estrato comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.
34. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
- 50 35. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 55 36. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 27, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 60 37. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.

## ES 2 539 977 T3

38. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el carbón no coquizable es menos de un 75% de la capa de material de solera.
39. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el carbón no coquizable es menos de 50% de la capa de material de solera.
40. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el carbón no coquizable es menos de 25% de la capa de material de solera.
- 10 41. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el carbón no coquizable es carbón sub-bituminoso.
42. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 41, en el que el carbón sub-bituminoso es carbón de *Powder River Basin*.
- 15 43. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
44. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
- 20 45. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el estrato comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.
- 25 46. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
47. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 30 48. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 37, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 35 49. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 1, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no aglomerable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
- 40 50. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 75% de la capa de material de solera.
51. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 50% de la capa de material de solera.
- 45 52. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 25% de la capa de material de solera.
53. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
- 50 54. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que el estrato comprende por lo menos tres capas de aglomerados.
- 55 55. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que hay cuatro capas de aglomerados.
56. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
- 60 57. El procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.

58. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 49, en el que el estrato comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 5 59. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro que comprende las etapas de:
- disponer una solera que comprende material refractario,  
colocar una capa de material de solera que comprende por lo menos material carbonoso sobre el material refractario,
- 10 colocar por lo menos dos capas de aglomerados compuestos de material reductor y material que contiene hierro reducible sobre la capa de material de solera, y  
calentar los aglomerados para formar a partir de por lo menos algunos de los aglomerados pepitas metálicas de hierro y escoria.
- 15 60. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que hay dos capas de aglomerados.
61. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que hay tres capas de aglomerados.
- 20 62. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59 en el que hay cuatro capas de aglomerados.
63. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que los aglomerados se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.
- 25 64. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro tal descrito en la alternativa 59, en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
- 30 65. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que una densidad de carga de los aglomerados es de por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.
66. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, que comprende además la etapa de disponer una sobrecapa de material carbonoso gruesa sobre por lo menos una parte de los aglomerados.
- 35 67. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa en la reivindicación 66, en el que la sobrecapa de material gruesa tiene una densidad de carga de aproximadamente 0,75 libras/pies<sup>2</sup>.
68. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 66, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
- 40 69. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
- 45 70. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 69, en el que el carbón no coquizable es menos de un 75% de la capa de material de solera.
- 50 71. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 69 en el que el carbón no coquizable es menos de un 50% de la capa de material de solera.
72. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 69, en el que el carbón no coquizable es menos de un 25% de la capa de material de solera.
- 55 73. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 69, en el que el carbón no coquizable es carbón sub-bituminoso.
74. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 73, en el que el carbón sub-bituminoso es carbón de *Powder River Basin*.
- 60 75. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 59, en el que la capa de material de solera comprende una mezcla de carbón no aglomerable y un material seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.

76. El procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 75 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 75% de la capa de material de solera.

5 77. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 75 en el que el carbón no aglomerable es menos de un 50% de la capa de material de solera.

78. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 77, en el que el carbón no aglomerable es menos de un 25% de la capa de material de solera.

10 79. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro que comprende las etapas de:

disponer una solera que comprende material refractario,  
colocar una capa de material de solera que comprende una mezcla de carbón de *Powder River Basin* y un material  
seleccionado del grupo que consiste en coque, residuo de carbón y otro material carbonoso

15 colocar en la capa de material de solera un estrato de aglomerados que comprende material reductor y material que  
contiene hierro reducible y que tiene una dimensión mayor y una dimensión menor, en el que el estrato tiene una  
profundidad media de por lo menos 1,75 veces la dimensión menor,  
disponer una sobrecapa de material carbonoso gruesa sobre por lo menos una parte de los aglomerados, y  
20 calentar los aglomerados para formar, a partir de por lo menos algunos de los aglomerados pepitas metálicas de  
hierro y escoria

80. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que el estrato  
comprende por lo menos dos capas de aglomerados.

25 81. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que el estrato  
comprende por lo menos tres capas de aglomerados.

82. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que el estrato  
comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.

30

83. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que los aglomerados  
se seleccionan de por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y bolas.

35 84. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que el estrato  
comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de  
por lo menos 2,5 libras/pies<sup>2</sup>/capa.

40 85. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que el estrato  
comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga de los aglomerados es de  
por lo menos 2,9 libras/pies<sup>2</sup>/capa.

86. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro descrito en la alternativa 79, en el que la sobrecapa de  
material gruesa tiene una densidad de aproximadamente 0,75 libras/pies<sup>2</sup>.

#### 45 Descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una o más realizaciones generales de un proceso de pepitas  
metálicas de hierro.

50 La figura 2 es un diagrama de bloques generalizado de un sistema de horno para la implementación de un proceso  
de pepitas metálicas de hierro tal como el mostrado en general en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de un horno de solera lineal que puede utilizarse para llevar a cabo uno o más procesos  
descritos aquí, y producir uno o más productos descritos aquí.

55

La figura 4 muestra una tabla que indica las composiciones químicas de uno o más aditivos que pueden utilizarse en  
una o más realizaciones del proceso de pepitas metálicas de hierro descrito en general en la figura 1, y/o para  
utilizarse en otros procesos que forman pepitas metálicas de hierro.

60 La figura 5 es una vista en sección transversal generalizada de una solera y las capas sobre la misma.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un procedimiento para disponer una  
mezcla reducible para utilizarse en un proceso de pepitas metálicas de hierro tal como se muestra en general en la  
figura 1, y/o para utilizarse en otros procesos que forman pepitas metálicas de hierro.

La figura 7 muestra un diagrama de fases CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Las figuras 8-10 muestran tablas para utilizarse en la descripción del efecto de la adición de fluoruro de calcio o fluorita a una mezcla reducible en un proceso de pepitas metálicas de hierro tal como el que se muestra en general en la figura 1, y/o para utilizarse en otros procesos que forman pepitas metálicas de hierro.

Las figuras 11, 12 y 13 muestran una mesa, una ilustración, y otra mesa, respectivamente, que se utiliza para mostrar el efecto de aditivos Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y CaF<sub>2</sub> a una mezcla reducible respecto al control de los niveles de azufre en una o más realizaciones de ejemplo de un proceso de pepitas metálicas de hierro tal como que se muestra en general en la figura 1, y/o para utilizarse en otros procesos que forman pepitas metálicas de hierro.

La figura 14 es una gráfica que muestra las concentraciones de CO en varias zonas de un horno de solera lineal tal como el que se muestra en la figura 3 para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de este tipo.

La figura 15 es una tabla que muestra el efecto de una composición de escoria en un proceso de reducción para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal mostrado en la figura 3.

La figura 16 es una tabla que muestra resultados analíticos de pepitas de hierro y escoria para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal mostrado en la figura 2D.

Las figuras 17 y 18 muestran el efecto del uso de diferentes niveles de adición de carbón en una o más realizaciones de ejemplo de un proceso de pepitas metálicas de hierro tal como se muestra en general en la figura 1, y/o para utilizarse en otros procesos que forman pepitas metálicas de hierro.

La figura 19 es una tabla que muestra resultados analíticos de pepitas de hierro y escoria para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal mostrado en la figura 3.

La figura 20 es una tabla que muestra los resultados analíticos de la distribución del peso de pepitas de hierro, micro-pepitas, una fracción magnética de malla +20 y escoria para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal mostrado en la figura 3.

La figura 21 es una tabla que muestra los resultados analíticos de pepitas de hierro y escoria para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal mostrado en la figura 3.

Las figuras 22-24 muestran una bandeja con una disposición de briquetas que contienen diferentes niveles de mezclas de alimentación con el uso de diferentes niveles de sobrecapa de coque gruesa en las mismas para utilizarse en la descripción de una o más pruebas que emplean un horno de solera lineal como el mostrado en la figura 3, y el producto resultante de una prueba típica.

La figura 25 muestra una gráfica de la relación entre el porcentaje de azufre en la escoria y el porcentaje de azufre en las pepitas metálicas de hierro para pruebas con y sin la adición de la sobrecapa gruesa.

La figura 26 es una tabla que ilustra cómo afecta el grosor de la capa de solera y la densidad de la capa de cubierta gruesa al tiempo de fusión en capas individuales, dobles, triples y de aglomerados.

La figura 27 es una tabla que ilustra cómo afecta el grosor de la capa de solera y la densidad de la capa de cubierta gruesa a la productividad de la fusión en capas individuales, dobles, y triples de aglomerados.

La figura 28 es una tabla que ilustra cómo afecta la densidad de los aglomerados al tiempo de fusión en capas individuales, dobles, y triples de aglomerados.

La figura 29 es una tabla que ilustra cómo afecta la densidad de los aglomerados a los índices de procesamiento en capas individuales, dobles, y triples de aglomerados.

La figura 30 es una gráfica que ilustra el tiempo de fusión según se ve afectado por la carga de aglomerados sueltos y compactos en capas individuales, dobles, y triples.

La figura 31 es una representación esquemática en sección transversal que ilustra el apilamiento de múltiples capas de briquetas sueltas formando un estrato.

La figura 32 es una representación esquemática en sección transversal que ilustra el apilamiento de múltiples capas de briquetas compactas formando un estrato.

La figura 33 es una representación esquemática en sección transversal que ilustra el apilamiento de múltiples capas de bolas compactas formando un estrato.

La figura 34 es una representación esquemática en sección transversal que ilustra el apilamiento de múltiples capas de bolas sueltas formando un estrato.

La figura 35 muestra una bandeja de apilado con dos capas de briquetas.

La figura 36 muestra la bandeja de la figura 34 después de calentar la bandeja con una sobrecapa de coque gruesa.

La figura 37 muestra una bandeja de apilado con tres capas de briquetas.

La figura 38 muestra la bandeja de la figura 37 después de calentar la bandeja con una sobrecapa de coque gruesa.

## 15 Descripción detallada de las realizaciones

Con referencia a las figuras 1-3 se describen ciertas realizaciones de un proceso para la producción de pepitas metálicas de hierro. Varias otras realizaciones del proceso para la producción de pepitas metálicas de hierro y ejemplos que soportan dichas diversas realizaciones se describen también con referencia a las otras figuras, tal como se describe a continuación. El procedimiento y el sistema para la producción de pepitas metálicas de hierro se describirán con más detalle a modo de ejemplo, junto con una o más de las ventajas y las características resultantes. Tal como se explica en detalle más adelante, el proceso descrito permite controlar la cantidad de azufre para producir un nuevo producto intermedio de pepitas de escoria/metal, y con la separación, nuevas pepitas metálicas de hierro.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una o más realizaciones ilustrativas generalizadas de un proceso de pepitas metálicas de hierro 10. El proceso de pepitas metálicas de hierro 10 que se muestra en el diagrama de bloques se describirá con referencia adicional a una realización más detallada que se muestra en la figura 3. Un experto en la materia reconocerá que una o más de las etapas descritas con referencia al proceso de pepitas metálicas de hierro 10 puede ser opcional. Por ejemplo, los bloques 20 y 26 se han marcado como opcionales. Como tal, se reconocerá que el proceso de pepitas metálicas de hierro 10 es una realización ilustrativa, y que la presente invención no queda limitada a cualquiera de las realizaciones específicas del proceso que se han descrito aquí, sino más bien tal como se describe en las reivindicaciones adjuntas.

Tal como se muestra en el bloque 12 de la figura 1, se dispone un solera 42 tal como se muestra en la figura 5. La solera 42 puede ser cualquier solera móvil adecuada para utilizarse con un sistema de horno 30 (por ejemplo, tal como el mostrado en general en la figura 2) que puede funcionar para utilizarse en la realización del proceso de pepitas metálicas de hierro 10, u otros procesos de pepitas metálicas que incorporan uno o más características que se describen aquí. En general, la solera 42 incluye un material refractario en el cual se recibe el material reducible a procesar (por ejemplo, material de alimentación). La solera 42 puede ser una solera adecuada para utilizarse en un horno de solera giratoria, un horno de solera lineal (por ejemplo, tal como se muestra en la figura 3), o cualquier otro sistema de horno que pueda funcionar para la implementación de reducción directa de pepitas metálicas de hierro. El material refractario puede ser, por ejemplo, una tabla refractaria, un ladrillo refractario, un ladrillo cerámico, o un material refractario moldeable.

Además, puede seleccionarse una combinación de tablero refractario y ladrillo refractario para proporcionar una máxima protección térmica para una subestructura subyacente. En una o más realizaciones, la solera puede incluir una subestructura de soporte que lleve un material refractario (por ejemplo, una solera con revestimiento refractario) formando la solera 42. La subestructura de soporte puede estar formada de uno o más materiales diferentes, tales como, por ejemplo, acero inoxidable, acero al carbono, u otros metales, aleaciones, o combinaciones de los mismos que presenten las características de alta temperatura requeridas para el procesamiento en el horno.

Con referencia al bloque 14 de la figura 1, en la solera 42 se dispone una capa de material de solera 44. La capa de material de solera 44 incluye por lo menos un material carbonoso.

Tal como se usa aquí, material carbonoso se refiere a cualquier material que contiene carbono adecuado para utilizarse como reductor con el material que contiene hierro. De acuerdo a una o más realizaciones particularmente ventajosas, la capa de material de solera 44 incluye coque, residuo de carbón, otro material carbonoso, o mezclas de los mismos. Por ejemplo, carbón de antracita, carbón bituminoso de baja volatilidad, carbón bituminoso de media volatilidad, carbón bituminoso de alta volatilidad, carbón sub-bituminoso, coque, grafito, residuo de carbón u otros materiales sub-bituminosos puedan ser utilizados para la capa de solera 44. Algunos carbones bituminosos de baja, media y alta volatilidad pueden no ser adecuados para utilizarse como capas de solera por sí mismos, pero pueden ser utilizados como materiales complementarios de carbón bituminoso. Además, pueden utilizarse materiales tales como coque pulverizado. El material carbonoso de la capa de solera puede contener una cantidad de azufre en un

intervalo entre aproximadamente un 0,2% y aproximadamente un 1,5%, y más típicamente, en el intervalo entre un 0,5% y un 0,8%.

La capa de material de solera puede estar compuesta por una mezcla de carbón finamente dividido y un material seleccionado del grupo de coque, residuo de carbón, y otro material carbonoso que se encuentra que resulta beneficioso para aumentar la eficiencia de la reducción de hierro. Las partículas de carbón pueden ser una mezcla de diferentes carbones tales como carbón no coquizable, carbón no aglomerable, carbón sub-bituminoso, carbón de *Powder River Basin* ("PRB") o lignito. Además, aunque se contempla hasta un cien por cien de carbón para utilizarse como capa de material de solera, en algunas realizaciones, el carbón finamente dividido puede comprender hasta un veinticinco por ciento (25%) mezclado con coque, residuo de carbón, otro material carbonoso, o mezclas de los mismos. En otras realizaciones, hasta un cincuenta por ciento (50%) de la capa de material de solera puede comprender carbón, o hasta un setenta y cinco por ciento (75%) de la capa de material de solera puede comprender carbón, con la parte restante coque, residuo de carbón, otro material carbonoso, o mezclas de los mismos.

Se contempla que una ventaja de la adición de carbón a la capa de material de solera son los compuestos volátiles en el carbón que hay disponibles para ser quemados y proporcionar calor para el proceso. Los compuestos volátiles pueden quemarse directamente cerca de la posición de su volatilización desde el carbón, o pueden comunicarse en una posición diferente en el horno para quemarse en un lugar más deseable. En cualquier caso, los compuestos volátiles pueden ser consumidos para calentar eficientemente el material reducible. Por lo tanto, la adición de carbón puede disminuir la necesidad de fuentes de combustible externas, a la vez que se protegen los refractarios de la solera.

La capa de material de solera 44 es de un grosor suficiente para evitar que la escoria penetre en la capa de material de solera 44 y haga contacto con el material refractario de la solera 42. Por ejemplo, el material carbonoso puede molerse o pulverizarse en cierta medida de modo que sea lo suficientemente fino para evitar que la escoria penetre, pero típicamente no tan fino como para crear un exceso de ceniza. Tal como reconoce un experto en la materia, el contacto de la escoria con la solera 42 durante el proceso de pepitas metálicas de hierro 10 produce daños no deseados al material refractario de la solera 42. Un tamaño de partícula adecuado para la capa de solera es de menos de malla 4<sup>1</sup> y deseablemente entre malla 4 y 100, con un grosor razonable de la capa de solera de aproximadamente 1/2 de pulgada o más, es una protección efectiva para la solera 42 contra la penetración de la escoria y el hierro metálico durante el procesamiento. Un material carbonoso de menos de malla 100 generalmente tiene un alto contenido en ceniza y también puede provocar polvo arrastrado que es difícil de manejar en operaciones comerciales.

Además, haciendo referencia al bloque 18 de la figura 1, se disponen múltiples capas de mezcla reducible 46 en la capa de material de solera 44 subyacente. Las múltiples capas de mezcla reducible incluyen por lo menos un material que contiene hierro reducible y material reducible para la producción de pepitas metálicas de hierro.

Tal como se usa aquí, un material que contiene hierro incluye cualquier material capaz de ser formado en pepitas metálicas de hierro a través de un proceso de pepitas metálicas de hierro 10 tal como se describe aquí. Por ejemplo, el material que contiene hierro puede incluir material de óxido de hierro, concentrado de mineral de hierro, gránulos de taconita, material que contiene hierro reciclable, desechos de plantas de gránulos y finos cribados de gránulos. Además, dichos residuos de plantas de gránulos y finos cribados de gránulos pueden incluir una cantidad considerable de hematita. Además, este tipo de material que contiene hierro puede incluir concentrados de magnetita, minerales de hierro oxidados, desechos de plantas de acero (por ejemplo, polvo de alto horno, polvo y restos de laminación de un horno de oxígeno básico (BOF)), lodo rojo de procesamiento de bauxita, arenas de hierro de titanio e ilmenitas, minerales de hierro mangániferos, desechos de plantas de alúmina, o minerales de hierro de tipo óxido de níquel. También pueden utilizarse minerales de hierro altos en sílice menos costosos. También pueden utilizarse otros materiales de hierro reducible para producir la mezcla reducible para la producción de pepitas metálicas de hierro utilizadas en los procedimientos que se describen para producir pepitas metálicas de hierro. Por ejemplo, para producir pepitas de hierro de manganeso pueden utilizarse lateritas de níquel y minerales de garnierita para pepitas de ferroníquel u óxidos de hierro de titanio, tales como ilmenita, que pueden transformarse en pepitas metálicas de hierro y titanio (a la vez que se produce escoria rica en titania), u óxidos ricos en hierro que contienen óxidos de manganeso.

Por lo menos en algunas realizaciones, dicho material que contiene hierro puede molerse a un tamaño de menos de malla 65 (es decir, malla -65) o menos de malla 100 (es decir, malla -100) para el procesamiento de acuerdo con los procedimientos descritos. Los distintos ejemplos presentados aquí utilizan material que contiene hierro molido a malla 100 y menos salvo que se especifique lo contrario. Sin embargo, también pueden utilizarse partículas de material que contiene hierro de mayor tamaño. Por ejemplo, finos cribados de gránulos y desechos de plantas de gránulos generalmente tienen un tamaño medio de aproximadamente malla 3 (aproximadamente 0,25 pulgadas). Dicho material puede utilizarse directamente, o puede molerse a malla -65 o -100 para proporcionar una mayor superficie de contacto de reductor carbonoso con el material que contiene hierro durante el procesamiento. El

proceso de reducción generalmente es más eficaz para producir eficientemente pepitas metálicas de hierro con una mayor área superficial con un material más finamente dividido.

El material carbonoso para la mezcla reducible puede molerse a un tamaño de malla 100 o menos para su procesamiento. En otra realización, el citado material carbonoso se proporciona en el intervalo entre malla -65 y malla -100. Sin embargo, puede utilizarse también material carbonoso en el intervalo entre malla -200 y malla -8. El uso de material carbonoso más grueso (por ejemplo, carbón) puede requerir mayores cantidades de carbón en la mezcla reducible para llevar a cabo el proceso de reducción. Un material carbonoso molido más fino puede ser más eficaz en la mezcla reducible. Incluso puede utilizarse también un material carbonoso de mayor tamaño. Por ejemplo, puede utilizarse material carbonoso de un tamaño de malla medio de menos de aproximadamente malla 6 a 7 (por ejemplo, entre aproximadamente 0,13 pulgadas (3,30 mm) y aproximadamente 0,11 pulgadas (2,79 mm)). Dicho material de mayor tamaño puede utilizarse directamente, o puede molerse a malla -65 o -100 para un mejor contacto y reaccionar de una manera más eficiente con el material reducible de hierro durante el procesamiento. Los diversos ejemplos que se presentan aquí utilizan material carbonoso molido a malla -100 salvo que se especifique lo contrario. Si se añaden también otros aditivos a la mezcla reducible, dichos aditivos también pueden molerse a un tamaño de malla -100 o menos.

Pueden utilizarse varios materiales carbonosos al proporcionar la mezcla reducible de material reductor y material que contiene hierro reducible. Por ejemplo, puede utilizarse antracita oriental y carbones no aglomerables bituminosos como reductor carbonoso en por lo menos una realización. Sin embargo, en algunas regiones geográficas como en *Iron Range* en el norte de Minnesota, el uso de carbón no aglomerable sub-bituminoso occidental ofrece una alternativa atractiva ya que estos carbones son accesibles más fácilmente con los sistemas de transporte por ferrocarril ya existentes, además de que generalmente tienen un coste más bajo y menores niveles de azufre. Como tales, los carbones sub-bituminosos occidentales pueden utilizarse en uno o más procesos tal como se describe aquí. Además, una alternativa a la utilización directa de carbones sub-bituminosos puede ser carbonizarlo, por ejemplo a 900 °C, antes de utilizarse. En cualquier caso, el material carbonoso en la mezcla reducible puede contener una cantidad de azufre en un intervalo entre aproximadamente un 0,2% y aproximadamente un 1,5%, y más típicamente en el intervalo entre un 0,5% y un 0,8%.

La cantidad de material reductor en la mezcla de material reductor y material de hierro reducible dependerá de la cantidad estequiométrica necesaria para la metalización completa del hierro en la reacción de reducción en el proceso del horno. Tal como se describe más adelante, dicha cantidad puede variar en función del horno utilizado y la atmósfera del horno en la cual se lleva a cabo la reacción de reducción. En una o más realizaciones, la cantidad de material reductor necesario para llevar a cabo la reducción del material que contiene hierro está entre aproximadamente un 70 por ciento y un 90 por ciento de la cantidad estequiométrica de material reductor teóricamente necesario para llevar a cabo la reducción para metalizar completamente el hierro. Dicho material carbonoso puede utilizarse en diferentes niveles estequiométricos (por ejemplo, un 70 por ciento, un 80 por ciento o un 90 por ciento) de la cantidad estequiométrica necesaria para la reducción del material que contiene hierro. En una realización, para aglomerados que contienen carbón en un 80% de la cantidad estequiométrica para reducir completamente el óxido de hierro, unas bolas tienen una densidad de aproximadamente 2,1, y unas briquetas o extrusiones tienen una densidad de aproximadamente 2,1. Esta característica de la invención se describe con más detalle a continuación.

En todas las realizaciones de la presente invención, un estrato de aglomerados tiene una profundidad media de por lo menos 1,7 veces una dimensión menor de los aglomerados. Por ejemplo, una realización de una briketa puede tener una dimensión 1,33 pulgadas por 0,84 pulgadas por 0,56 pulgadas (33,78 mm por 21,34 mm por 14,22 mm). Dichas briquetas tendrían una dimensión mayor de 1,33 pulgadas (33,78 mm) y una dimensión menor de 0,56 pulgadas (14,22 mm). En otra realización, una briketa puede tener una dimensión de 1,38 pulgadas por 0,88 pulgadas por 0,48 pulgadas (35,05 mm por 22,35 mm por 12,19 mm). Dichas briquetas tendrían una dimensión mayor de 1,38 pulgadas (35,05 mm) y una dimensión menor de 0,48 pulgadas (12,19 mm). El grosor de la mezcla reducible generalmente está limitado y/o depende de la penetración de calor efectiva en la misma. Una mayor área superficial de material que contiene hierro y material carbonoso en la mezcla reducible permite una mejor transferencia de calor y actividad de reducción.

55

<sup>1</sup> El tamaño de malla de las partículas discretas se mide mediante el tamaño de malla *Tyler* para las mediciones que se dan aquí.

60

Tal como se muestra por el bloque 20 de la figura 1, pueden disponerse opcionalmente aditivos a la mezcla reducible, para uno o más fines, además del material reductor (por ejemplo, carbón o residuo de carbón) y material que contiene hierro reducible (por ejemplo, material de óxido de hierro o mineral de hierro). Por ejemplo, pueden disponerse aditivos (i) para controlar la basicidad de la escoria, (ii) para que los aglutinantes proporcionen la funcionalidad del aglutinante (por ejemplo, la cal puede actuar como aglutinante débil en una configuración de micro-aglomerados cuando se humedece), (iii) para controlar la temperatura de fusión de la escoria, (iv) para reducir la formación de micro-pepitas, y/o (v) para controlar aún más el contenido de azufre en pepitas de hierro resultantes formadas mediante el proceso de pepitas metálicas de hierro 10. La tabla de la figura 4 muestra las composiciones químicas de diversos aditivos a la mezcla reducible 46. Esto incluye, por ejemplo, composiciones químicas tales como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , bauxita, bentonita,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hidrato de cal, piedra caliza, y cemento Portland. Pueden utilizarse también otros aditivos tales como  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , fluorita, ceniza de sosa, escoria de fundición de aluminio, criolita, y  $\text{SiO}_2$ . Puede proporcionarse uno o más de dichos aditivos, por separado o en combinación, para obtener resultados beneficiosos cuando se utilizan en el proceso de pepitas metálicas de hierro 10. Estos aditivos y su impacto particularmente en la reducción de niveles de azufre en las pepitas metálicas de hierro se explican con más detalle a continuación. Algunos de los aditivos ilustrados contienen pequeñas cantidades de Mg, tal como se muestra. El Mg, en compuestos tales como la dolomita, debe evitarse y, en cualquier caso, no se utiliza en cantidades que producirán un 5% en masa o más de  $\text{MgO}$  en la escoria resultante.

La mezcla reducible 46 puede formarse después en aglomerados tales como briquetas, bolas, o extrusiones para utilizarse en el proceso descrito de formación de pepitas metálicas de hierro. Hay que señalar también que la diferente presurización durante la formación de los aglomerados puede resultar en diferentes características de procesamiento según se desee para la realización particular del presente procedimiento.

Con referencia a la figura 1, tal como se muestra en el bloque 22, puede proporcionarse una capa que contiene material carbonoso gruesa 49 en múltiples capas de aglomerados de la mezcla reducible. El material carbonoso grueso de la capa superior tiene un tamaño de partícula medio mayor que un tamaño de partícula medio de la capa de solera. Adicionalmente o alternativamente, la sobrecapa de material carbonoso gruesa puede incluir partículas discretas que tienen un tamaño mayor de aproximadamente malla 4 o aproximadamente malla 6 y, en algunas realizaciones, la sobrecapa de material carbonoso gruesa puede tener partículas discretas con un tamaño entre aproximadamente malla 4 o malla 6 y de aproximadamente 1/2 pulgada (12,7 mm). Es evidente que puede haber algunas partículas discretas con un tamaño de menos de malla 4 o malla 6 cuando se desean partículas discretas con un tamaño mayor de malla 4 o malla 6, pero la mayoría de las partículas discretas será mayor que malla 4 o malla 6 si se desea una partícula de un tamaño mayor que malla 6. El material carbonoso grueso puede ser coque, carbón, residuo de carbón, o una combinación de uno o más de estos.

Con los aglomerados de material reducible 46 formados dispuestos sobre la capa de material de solera 44 y con la sobrecapa carbonosa 49 en posición, se dispone un horno de reducción 34 (mostrado en la figura 2) para reducir térmicamente de manera directa las capas de mezcla reducible 46 para producir una o más pepitas metálicas de hierro en uno o más de la pluralidad de aglomerados. El horno de reducción 34 puede incluir cualquier región o zona del horno adecuada para proporcionar las condiciones adecuadas (por ejemplo, zonas de secado/calentamiento, reducción, fusión y enfriamiento) para el procesamiento de la mezcla reducible 46 de los aglomerados para formar una o más pepitas metálicas de hierro. Por ejemplo, puede utilizarse un horno de solera lineal, o cualquier otro horno capaz de realizar el tratamiento térmico (bloque 24 de la figura 1) de la mezcla reducible 46.

Se separan bolas de escoria sobre la capa de material de solera 44 de las pepitas de hierro o se unen a la misma. Con referencia al bloque 28 de la figura 1, las pepitas metálicas de hierro y escoria (por ejemplo, bolas de escoria unidas) se descargan de la solera, y las pepitas metálicas descargadas se separan entonces de la escoria (bloque 29).

La presencia de  $\text{CO}$  en la atmósfera del horno aceleraba algo el proceso de fusión en comparación con una única atmósfera solamente de  $\text{N}_2$ ; la presencia de  $\text{CO}_2$  en atmósferas del horno adyacente al material reducible desaceleraba los comportamientos de la fusión de pepitas metálicas de hierro. Se ha observado que una presencia de  $\text{CO}_2$  en atmósferas de horno durante la formación de pepitas de hierro a partir de aproximadamente  $1325\text{ }^\circ\text{C}$  ( $2417\text{ }^\circ\text{F}$ ), donde la temperatura se encontraba en el umbral de la formación de pepitas de hierro fundido, inhibe la formación de las pepitas metálicas de hierro. El efecto de  $\text{CO}_2$  se volvió menos pronunciado a temperaturas más elevadas y, de hecho, el efecto se volvió virtualmente ausente a  $1400\text{ }^\circ\text{C}$  ( $2552\text{ }^\circ\text{F}$ ) debido a la formación de  $\text{CO}_2$  formando  $2\text{ CO}$  por encima de dicha temperatura. Este efecto se muestra mediante el diagrama que se da en la figura 14. Este resultado se observa principalmente en la atmósfera de  $\text{N}_2$  y  $\text{CO}$  en el horno tubular o en el horno de tipo caja. Además, la presencia de carbono cerca del hierro reducido caliente permitirá que el hierro recoja carbono en solución. Esta carbonización del hierro reduce el punto de fusión del hierro y, a su vez, reduce la temperatura del proceso para la fusión completa del hierro metálico.

El proceso de formación de las pepitas metálicas de hierro se mejora notablemente mediante la sobrecapa 49 de material carbonoso grueso. La partición del azufre en la escoria del producto intermedio pepita metálica/escoria se

mejora reduciendo los niveles de azufre en las pepitas metálicas de hierro sin grandes cantidades de MgO en la escoria. Según se forma, el material carbonoso de la sobrecapa gruesa puede contener una cantidad de azufre en un intervalo entre aproximadamente un 0,2% y aproximadamente un 1,5%, y más típicamente, en el intervalo entre un 0,5% y un 0,8%.

5 Los procesos metálicos de pepitas de hierro que difieren del descrito con referencia a la figura 1 (por ejemplo, el proceso ITmk3, el proceso Hi-QIP) también pueden adaptarse para la práctica del proceso que se describe aquí y para producir el nuevo producto intermedio escoria/pepita con alta partición de azufre en la escoria. En estas realizaciones puede utilizarse el mismo material reductor y los mismos materiales de hierro (es decir, tipo de  
10 composición), pero la forma de la mezcla reducible en la solera puede ser diferente. Por ejemplo, la forma que adopta la mezcla reducible puede ser bolas verdes preformadas utilizando aglutinante, en lugar de briquetas u otro tipo de aglomerado. Como tal, el proceso puede utilizarse para formar nuevos productos intermedios con proporciones de azufre en la escoria respecto al azufre en pepitas mayor de 12, o 15 o 30, y nuevas pepitas metálicas de hierro con menos de un 0,03% de azufre, y no sólo con el proceso que se ha descrito anteriormente  
15 con referencia a la figura 1.

El proceso de pepitas metálicas de hierro 10 puede llevarse a cabo mediante un sistema de horno 30 tal como se muestra generalmente en la figura 2. El sistema de horno 30 incluye generalmente un aparato de carga 36 operable para proporcionar una capa de mezcla reducible 46 sobre por lo menos una parte de la capa de material de solera  
20 44. El aparato de carga puede incluir cualquier aparato adecuado para proporcionar una mezcla reducible 46 sobre una capa de material de solera 44. Puede utilizarse un conducto de alimentación controlable, un dispositivo de nivelación, y un aparato de dirección de alimentación para colocar dicha mezcla reducible en la solera 42.

El aparato 37 también puede utilizarse para proporcionar la sobrecapa carbonosa gruesa 49 sobre los aglomerados,  
25 que también pueden llenar parcialmente las zonas que rodean los aglomerados.

Además, tal como se muestra en la figura 2, el sistema de horno 30 incluye un aparato de descarga 38 que se utiliza para eliminar las pepitas metálicas y la escoria que se forma durante el procesamiento por el sistema de horno 30, y descargar dichos componentes (por ejemplo, pepitas metálicas de hierro y escoria) del sistema 30 después de que  
30 las pepitas metálicas de hierro se enfríen y solidifiquen. El aparato de descarga 38 puede incluir cualquier número de distintas técnicas de descarga incluyendo descarga por gravedad (por ejemplo, inclinando una bandeja que incluya las pepitas y escoria) o técnicas que utilizan un dispositivo de descarga de tornillo o un dispositivo de descarga de rastrillo. Se reconocerá que cualquier número de diferentes tipos de aparatos de descarga 38 puede ser adecuado para realizar la citada descarga de las pepitas (por ejemplo, agregados de pepitas de hierro y bolas de escoria).  
35 Además, puede utilizarse después un aparato de separación para separar las pepitas metálicas de hierro de las bolas de escoria. Puede utilizarse cualquier procedimiento para romper y separar los agregados de pepitas de hierro y bolas de escoria, por ejemplo, haciéndolos girar en un tambor, cribándolos, o en un molino de martillos. Sin embargo, puede utilizarse cualquier aparato de separación adecuado (por ejemplo, un aparato de separación magnética).

40 En ausencia de cualquier otra información de la composición del gas del horno de procesos de pepitas de hierro, la mayor parte de las pruebas de laboratorio en un horno de tipo caja que se describe aquí se llevó a cabo en una atmósfera de un 67,7% de N<sub>2</sub> y un 33,3% de CO, en el supuesto de que el CO<sub>2</sub> en un quemador de gas se convierte rápidamente en CO en presencia de reductores carbonosos y materiales de la capa de solera mediante la reacción  
45 *Boudouard* (es decir, solución de carbono) ( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ) a temperaturas superiores a 1000 °C, y una atmósfera rica en CO prevalecería por lo menos en la proximidad de los materiales reducibles en gran parte debido a la presencia de la sobrecapa gruesa. En estas pruebas, el dióxido de carbono a menudo predominó y podría alcanzar niveles superiores al 16%. El uso de la sobrecapa carbonosa gruesa, sin embargo, permitió la producción de pepitas metálicas de hierro incluso en estas condiciones adversas.

50 Pueden utilizarse uno o más hornos reductores diferentes de acuerdo con los procedimientos descritos dependiendo de la aplicación particular de los procedimientos descritos. Por ejemplo, en una o más realizaciones que se describen aquí, se utilizan hornos de laboratorio para llevar a cabo el tratamiento térmico. Se reconocerá que a partir de los hornos de laboratorio puede realizarse un escalado a nivel de producción en masa y los actuales procesos  
55 contemplan tal escala. Así, se reconocerá que pueden utilizarse varios tipos de aparatos descritos aquí en procesos a mayor escala, o puede utilizarse el equipo de producción necesario para llevar a cabo tales procesos a una escala mayor.

Por ejemplo, también puede utilizarse un horno de solera lineal tal como el que se describe en la solicitud de patente provisional americana nº 60/558.197, titulada "Sistema de horno de solera lineal y procedimientos", presentada el 31  
60 de marzo de 2004, publicada como US 2005/0229748A1. A continuación, se da un resumen del horno de solera lineal que se describe en la misma. En la figura 3 se muestra en general una realización de ejemplo de dicho horno de solera lineal y puede ser un horno de reducción de hierro de viga galopante de cuarenta pies de largo 712 que incluye tres zonas de calentamiento 728, 730, 731 separadas por unas paredes deflectoras internas 746, y que

incluye también una sección de enfriamiento final 734. Tal como se describe aquí, se llevaron a cabo diversas pruebas utilizando este horno de solera lineal y los resultados del mismo se describen con referencia a las figuras.

La zona 728 se describe como zona inicial de calentamiento y reducción. Esta zona puede funcionar en dos quemadores de gas natural 738 de 450000 BTU (113398 Kcal) capaces de alcanzar temperaturas de 1093 °C. Los quemadores funcionan típicamente de manera subestequiométrica para minimizar los niveles de oxígeno.

La zona 730 se describe como zona de reducción. Esta zona puede funcionar en dos quemadores de gas natural 738 de 450000 BTU (113398 Kcal) capaces de alcanzar 1316 °C. La reducción de la mezcla de alimentación se produce en esta zona 730.

La zona 731 se describe como la zona de fusión/fundición. Esta zona puede operar en dos quemadores de gas natural 738 de 1000000 BTU (251995 Kcal) capaces de mantener esta zona a 1426 °C. La función de esta zona es completar la reducción, fundiendo el hierro en nódulos o "pepitas" de hierro metálicos. En el caso de que este horno se utilice para producir hierro de reducción directa o hierro esponjoso, las temperaturas en esta zona se reducirían donde se promovió la reducción completa sin fusión.

La viga galopante 724 transporta unas bandejas 715 al extremo opuesto 722 del horno donde se descargan sobre un elevador de plataforma similar (placa de bolas de rodillos) 754. Se ha instalado un mecanismo de seguridad para controlar la posición de las bandejas calientes en la descarga del horno. Unos rodillos de descarga accionan las bandejas sobre el elevador de plataforma donde pueden extraerse o volver a insertarse de nuevo en el horno. Los rodillos de descarga no funcionan salvo que las bandejas se encuentren en la posición de descarga, el elevador de plataforma se encuentre en la posición "arriba", y las vigas galopantes hayan bajado para evitar que las bandejas calientes se descarguen accidentalmente. Unos rodillos transportadores escalonados se encuentran situados en la descarga del horno para eliminar y guardar palés de muestra hasta el enfriamiento.

El sistema de gases de escape 747 está conectado a un ventilador de extracción 753 con un regulador de tiro variable controlado por un PLC del horno. Debido a que el ventilador de extracción 753 está sobredimensionado para esta aplicación, se utiliza un amortiguador en línea controlado manualmente o un control de presión 755 para reducir la capacidad del ventilador de extracción 753 para mejorar el control de presión de la zona. Como precaución de seguridad, se instala una pata barométrica en un depósito de agua controlado por nivel entre la cabeza común y el ventilador de extracción para absorber cualquier cambio súbito de presión. Los gases de escape se descargan del ventilador 753 en una pila de escape de cuarenta metros 757. Los conductos de escape van revestidos de material refractario hacia las paredes exteriores del horno donde hacen transición a acero inoxidable de alta temperatura (RA602CA), equipado con unas boquillas de pulverización de agua 749, que se utiliza para enfriar los gases residuales.

Las bandejas o palés de muestra 715 tienen unas bandejas de fondo plano recubiertas de material refractario de 30 pulgadas cuadradas que se transporta a través del horno mediante el mecanismo de viga galopante 724. La estructura de bandejas puede estar realizada en una aleación de acero inoxidable 303 o acero al carbono. Éstas pueden estar cubiertas con ladrillo refractario alta temperatura o tablero de fibra de cerámica con paredes laterales para contener la mezcla de alimentación.

Los sistemas de horno descritos anteriormente se dan para ilustrar adicionalmente el proceso de formación de pepitas 10, y ha proporcionado algunos aspectos en las pruebas y los resultados presentados aquí. Sin embargo, puede utilizarse cualquier sistema de horno adecuado capaz de llevar a cabo una o más realizaciones de un proceso de formación de pepitas metálicas de hierro que se describe aquí.

#### **Control de la cantidad estequiométrica de material reductor.**

En anteriores procesos de reducción de hierro metálico, tales como los que utilizan bolas secas descritos en los antecedentes de la invención indicados anteriormente, típicamente se añaden materiales reductores carbonosos a la mezcla reducible en una cantidad mayor que la cantidad estequiométrica teórica necesaria para completar la reducción de los óxidos de hierro. Esto se hace para favorecer la cementación de hierro metálico con el fin de reducir el punto de fusión y la temperatura de reducción de la mezcla reducible a hierro metálico. La cantidad de reductor carbonoso en las bolas incluye una cantidad requerida para la reducción de óxido de hierro además de una cantidad requerida de hierro metálico de cementación y para la pérdida asociada a la oxidación.

Tal como se ha descrito anteriormente, en ciertos hornos (por ejemplo, tales como hornos de gas natural con alto contenido en CO<sub>2</sub> y atmósferas de gas altamente turbulentas), el material carbonoso (por ejemplo, carbón) añadido en mezclas de alimentación (por ejemplo, tales como las mezclas reducibles que se describen aquí) se pierde por la reacción de la solución de carbono (*Boudouard*) en determinadas zonas del horno (por ejemplo, zonas de precalentamiento y reducción). Para compensar esta pérdida, puede ser necesario añadir material reductor (por ejemplo, material carbonoso) por encima de la cantidad estequiométrica teóricamente necesaria para una

metalización completa. Sin embargo, también tal como se describe aquí, dicha adición de material reductor (por ejemplo, carbón) por encima de la cantidad estequiométrica puede dar lugar a la formación de grandes cantidades de micro-pepitas, es decir, pepitas que son demasiado grandes para atravesar un tamiz de malla 20 (material de malla +20) y menos de aproximadamente 1/8 "(aproximadamente 3 mm). Se ha encontrado dicha formación de  
5 micro-pepitas relacionada con la turbulencia del gas y su composición en la atmósfera del horno en una zona cerca de la mezcla reducible durante el procesamiento.

Tal como se ha descrito anteriormente, en algunas realizaciones de los procesos descritos, la mezcla reducible incluye una cantidad predeterminada de material reductor (por ejemplo, reductor carbonoso) entre aproximadamente  
10 un 70 por ciento y aproximadamente un 90 por ciento de la cantidad estequiométrica necesaria para su metalización completa. Tal como se aprecia en las figuras 17-18, la adición de entre aproximadamente un 70% y aproximadamente un 90% de la cantidad teórica minimizaba la formación de micro-pepitas. El carbono necesario para una reducción y carbonización adicional de metal fundido provenía, por ejemplo, de CO en la atmósfera del  
15 de solera carbonoso 44 subyacente. Se cree que los niveles de carbono subestequiométricos en las mezclas reducibles ayudan a controlar los sitios de nucleación y a la inhibición de la formación de pequeñas pepitas metálicas que no se consolidan en pepitas más grandes. Los requisitos estequiométricos en carbono para la completa reducción del hierro en las pepitas metálicas se satisface con el carbono en la capa de solera y la sobrecapa. Se cree que estas fuentes proporcionan también el carbono adicional necesario para el carbono disuelto  
20 en la fase de hierro de las pepitas metálicas de hierro. La disponibilidad de carbono de la capa de solera y la sobrecapa para la solubilización en el hierro reducido disminuye su punto de fusión y, a su vez, reduce la temperatura de procesamiento necesaria para la separación metal/escoria.

Además, el control de la cantidad de material reductor en la mezcla reducible en base a la cantidad estequiométrica  
25 teóricamente necesaria para completar el proceso de metalización se aplica no sólo a los procedimientos descritos con referencia a la figura 1 sino también a otros procesos de reducción directa para la formación de pepitas metálicas. La sobrecapa gruesa junto con la capa de solera subyacente que se describen aquí reducen la formación de micro-pepitas formadas en el proceso de reducción.

### 30 Pruebas con aditivos sin una capa superpuesta gruesa.

Estas pruebas fueron preformadas con una sola capa de aglomerados, pero se cree que los resultados son relevantes para múltiples capas de aglomerados descritas en los párrafos [0142] y siguientes.

35 Tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 1, la mezcla reducible 46 para utilizarse en el proceso de pepitas metálicas de hierro 10 puede incluir uno o más aditivos en combinación con el material reductor y el material que contiene hierro reducible (por ejemplo, material de óxido de hierro reducible). En el diagrama de bloques de la figura 6 se muestra uno de dichos procedimientos 200 para proporcionar a la mezcla reducible 46  
40 aditivos opcionales. Se proporciona una mezcla de por lo menos material reductor de material carbonoso tal como carbón, coque o carbón vegetal y material de óxido de hierro reducible (bloque 202). Opcionalmente además, puede añadirse a la mezcla reducible óxido de calcio o uno o más compuestos capaces de producir óxido de calcio después de la descomposición térmica del mismo (bloque 204). Además, adicionalmente o alternativamente, puede proporcionarse óxido de sodio o uno o más compuestos que producen óxido de sodio tras la descomposición  
45 térmica (bloque 206), en combinación con los otros componentes de la mezcla reducible. Además, opcionalmente pueden proporcionarse uno o más agentes fundentes para utilizarse en la mezcla reducible (bloque 208). Los agentes fundentes que pueden proporcionarse para utilizarse con la mezcla reducible (bloque 208) pueden incluir cualquier agente fundente adecuado. Por ejemplo, puede incluirse un agente que ayude en el proceso de fusión reduciendo la temperatura de fusión de la mezcla reducible o aumente la fluidez de la mezcla reducible. Los aditivos pueden formar parte naturalmente de una parte del material que contiene hierro reducible utilizado como fuente para  
50 el óxido de hierro, y típicamente puede ser un 2% del contenido del material que contiene hierro reducible pero puede oscilar entre aproximadamente un 1% y aproximadamente un 7% en peso. En algunas realizaciones, puede utilizarse fluoruro de calcio (CaF<sub>2</sub>) o fluorita (por ejemplo, una forma mineral de CaF<sub>2</sub>) como agente fundente. Alternativamente, puede utilizarse como agente fundente SiO<sub>2</sub>, bórax, NaF, ceniza de sosa (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), o escoria de la industria de fundición de aluminio o criolita. Respecto al uso de fluorita como agente fundente, entre  
55 aproximadamente un 0,5% y aproximadamente un 4% en peso de la mezcla reducible puede ser fluorita.

El uso de fluorita, por ejemplo, así como uno o más de otros agentes fundentes reduce la temperatura de fusión de la fase de escoria durante la formación de las pepitas metálicas de hierro y, al mismo, tiempo reduce la generación de micro-pepitas. Se ha encontrado que la fluorita reduce no sólo la temperatura de formación de pepitas, sino  
60 también que únicamente es eficaz en la reducción de la cantidad de micro-pepitas generadas. Se cree que la escoria de menor temperatura permite eliminar la escoria del hierro de reducción y la formación de pepitas metálicas de hierro.

- En un intento por mejorar la capacidad de eliminación de azufre de la escoria, tal como se describirá adicionalmente aquí, el nivel de cal o uno o más de otros compuestos capaces de producir óxido de calcio también puede aumentarse más allá de una composición (L), tal como se muestra en el diagrama de fase  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  de la figura 7 que indica las composiciones de escoria de (A), (L), (L<sub>1</sub>) y (L<sub>2</sub>). La composición (L) se encuentra en el canal de baja temperatura de fusión en el diagrama de fases  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Las composiciones de escoria se abrevian indicando las cantidades de cal adicional utilizada un sufijo como porcentaje, por ejemplo, (L<sub>1</sub>) y (L<sub>2</sub>) indican adición de cal de un 1% y un 2%, respectivamente, sobre la de la composición (L). La cantidad de  $\text{CaF}_2$  químico (abreviado CF) añadido en porcentaje se indica también como un sufijo, por ejemplo, (L<sub>0,5</sub>CF<sub>0,25</sub>), que representa que se añadió un 0,25% en peso de  $\text{CaF}_2$  a una mezcla de alimentación con una composición de escoria de (L<sub>0,5</sub>).
- Es práctica común en la industria del acero aumentar la basicidad de la escoria mediante la adición de cal a la escoria bajo una atmósfera reductora para la eliminación de azufre de hierro metálico, por ejemplo, en altos hornos. Sin embargo, el aumento de cal de la composición de escoria (L) a (L<sub>1,5</sub>) y (L<sub>2</sub>) puede reducir el azufre, pero aumenta la temperatura de fusión y la cantidad de micro-pepitas generadas tal como se ha descrito. En el presente proceso, el uso de aditivos fundentes que disminuyen la temperatura de fusión de la escoria, tales como la fluorita, puede utilizarse para (i) reducir la temperatura de formación de pepitas de hierro, (ii) reducir azufre en las pepitas de hierro, y, (iii) reducir la cantidad de micro-pepitas formadas en el procesamiento. Por ejemplo, la adición de ciertos aditivos, tales como fluorita en la mezcla de alimentación puede reducir la cantidad de micro-pepitas producidas durante el procesamiento de la mezcla de alimentación reducible.
- Aunque se indica que la fluorita no es un desulfurante particularmente eficaz en escoria de metalurgia, se ha encontrado que con un aumento de la adición de fluorita, se encontró que el azufre en pepitas de hierro se reducía de manera más eficaz en composiciones de escoria (L<sub>1,5</sub>) y (L<sub>2</sub>) que en (L<sub>1</sub>). Por lo tanto, el uso de fluorita no sólo disminuyó la temperatura de funcionamiento y disminuyó además el azufre en pepitas de hierro, sino que también se ha encontrado que tiene la ventaja inesperada de minimizar la generación de micro-pepitas en las pepitas metálicas de hierro. Se cree que la temperatura de fusión para los componentes de escoria es menor cuando se emplea fluorita. De este modo, hay disponible una mayor cantidad de escoria líquida para interactuar con el azufre y capturar el azufre en la escoria. Si hay presente cal como aditivo, el volumen de escoria aumenta y la fluorita es más eficaz en aumentar los niveles de azufre en la escoria y reducir los niveles de azufre en las pepitas metálicas de hierro.
- Con referencia a la figura 6, puede utilizarse también óxido de calcio, y/o uno o más compuestos capaces de producir óxido de calcio tras la descomposición térmica (bloque 204). Por ejemplo, puede utilizarse cal como aditivo a la mezcla reducible. Un mayor uso de cal disminuyó el azufre en pepitas de hierro entre un 0,084% y un 0,05%. Un mayor uso de cal, sin embargo, requiere temperaturas de reducción cada vez más elevadas y mayor tiempo a la temperatura de reducción para formar pepitas metálicas de hierro totalmente fusionadas. Como tal, una cantidad sustancial de cal no es deseable, ya que temperaturas más elevadas también provocan una producción menos económica de pepitas metálicas de hierro, y reduce el rendimiento con una mayor formación de micropepitas. Sin embargo, pueden realizarse más reducciones en el contenido de azufre mediante el uso de la sobrecapa de material carbonoso gruesa tal como se explica más completamente aquí.
- También, tal como se muestra en la figura 6, puede utilizarse óxido de sodio, y/o uno o más compuestos capaces de producir óxido de sodio después de la descomposición térmica, además de la cal (bloque 206) para reducir el azufre en las pepitas metálicas de hierro formadas. Puede utilizarse ceniza de sosa,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , bórax,  $\text{NaF}$  y/o escoria de la industria de fundición de aluminio para reducir el azufre en las pepitas metálicas de hierro (utilizado por ejemplo en la mezcla reducible). Sin embargo, sin el uso de una sobrecapa de material carbonoso gruesa, se ha encontrado que los niveles de azufre en las pepitas metálicas mediante el uso de estos aditivos varían entre un 0,083% y un 0,018% en peso.
- La tabla de la figura 13 muestra el efecto de la temperatura sobre los resultados analíticos de pepitas de hierro formadas a partir de mezclas de alimentación reducibles. La mezcla de alimentación reducible incluía un 5,7% de  $\text{SiO}_2$ , concentrado magnético, una composición de escoria (L<sub>1,5</sub>FS<sub>1</sub>SC<sub>1</sub>), y carbón bituminoso de volatilidad media en un 80% del requisito estequiométrico para la metalización. La mezcla de alimentación reducible se calentó en el horno tubular a las temperaturas indicadas durante 7 minutos en una atmósfera de  $\text{N}_2\text{-CO}$ . Tal como se muestra en la tabla de la figura 13, el azufre en las pepitas de hierro disminuyó notablemente con una menor temperatura entre un 0,029% S a 1400 °C y un 0,013% S a 1325 °C. Una adición de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  junto con un 1-2%  $\text{CaF}_2$  no sólo redujo el azufre en las pepitas metálicas de hierro a muy por debajo de un 0,05%, sino que también redujo la temperatura de funcionamiento y minimizó la generación de micro-pepitas. La reducción de la temperatura de proceso, por lo tanto, es una ventaja adicional con el uso de estos aditivos, y la consiguiente reducción de costes de energía y mantenimiento, con una menor cantidad de azufre en las pepitas metálicas de hierro.
- En general, la figura 8 muestra el efecto de la adición de fluorita en resultados analíticos de pepitas de hierro formadas a partir de mezclas de alimentación que incluían un 5,7% de concentrado magnético de  $\text{SiO}_2$ , carbón bituminoso de volatilidad media en un 80% del requisito estequiométrico para la metalización y composición de

escoria (L<sub>1</sub>), (L<sub>1,5</sub>), y (L<sub>2</sub>). Las muestras en un patrón de 2 segmentos en botes se calentaron a 1400 °C durante 7 minutos en una atmósfera de N<sub>2</sub>-CO.

- La tabla de la figura 11 muestra el efecto de adiciones de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y CaF<sub>2</sub> en un análisis de azufre de pepitas de hierro a diferentes niveles de adición de cal, las pepitas de hierro formadas a partir de mezclas de alimentación que incluían un 5,7% de concentrado magnético de SiO<sub>2</sub>, carbón bituminoso de volatilidad media a un 80% del requerimiento estequiométrico para la metalización, y la composición de escoria (L<sub>m</sub>CF<sub>1</sub> o L<sub>m</sub>FS<sub>1</sub>). Las mezclas de alimentación se calentaron en el horno tubular a 1400 °C durante 7 minutos en una atmósfera de N<sub>2</sub>-CO.
- 10 Una adición de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sin CaF<sub>2</sub> redujo el azufre en pepitas de hierro tan eficazmente como el CaF<sub>2</sub>, o incluso más eficazmente que éste, pero la cantidad de micro-pepitas generadas aumentó, tal como se muestra en las figuras 12A-12C. Cuando se utilizó CaF<sub>2</sub> junto con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el contenido de azufre en pepitas de hierro disminuyó aún más y la cantidad de micro-pepitas siguió siendo mínima en aproximadamente un 1%. Otro punto a destacar fue que el efecto de CaF<sub>2</sub> en la reducción de la temperatura de fusión de pepitas de hierro fue más pronunciado en composiciones de escoria (L<sub>1</sub>), (L<sub>1,5</sub>), y (L<sub>2</sub>) que en composiciones de escoria L y L<sub>0,5</sub>. Este dato analítico muestra que por lo menos en esta realización la disminución de azufre fue más pronunciada con ceniza de sosa que con una mayor adición de cal.

- Aunque se indica que la fluorita no es particularmente un desulfurante eficaz en escoria de metalurgia, la figura 8 muestra que al aumentar la adición de fluorita, se redujo el azufre en pepitas de hierro de manera más eficaz en composiciones de escoria (L<sub>1,5</sub>) y (L<sub>2</sub>) que en (L<sub>1</sub>). En composiciones de escoria (L<sub>1,5</sub>) y (L<sub>2</sub>), las pepitas de hierro analizadas incluían un 0,058% en peso de azufre y un 0,050% en peso de azufre, respectivamente, mientras que el azufre disminuyó de manera constante a un mínimo de un 0,013% y un 0,009% en peso, respectivamente, en la adición de fluorita de un 4%. Por lo tanto, el uso de fluorita no sólo redujo la temperatura de funcionamiento y el azufre en pepitas de hierro, sino que también mostró un beneficio inesperado de minimizar la generación de micro-pepitas, tal como se muestra en las figuras 9 y 10.

- Las concentraciones de CO, expresadas como porcentajes de CO+CO<sub>2</sub>, se representaron gráficamente en los diagramas de concentración de equilibrio de la reducción de óxido de hierro y reacciones de solución de carbono (*Boudouard*) tal como se muestra en la figura 14. La concentración de CO en la zona 1 (1750 °F (954 °C)) se encontraba en la región de estabilidad de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, y las de las zonas 2 (2100 °F (1149 °C)) y la zona 3 (2600 °F (1427 °C)) se encontraban en el rango bajo de la región de estabilidad de FeO. Todos los puntos fueron muy inferiores a la reacción de la solución de carbono, lo que apoya la opinión de que el carbón añadido se perdió rápidamente en el horno de solera lineal. Los puertos de muestreo de gas del horno de solera lineal se encuentran en la pared del horno a aproximadamente 8 pulgadas por encima de las superficies de los palés. Debido a la alta turbulencia de los gases del horno, las concentraciones de CO de un 4% deben representar un valor bien mezclado. La flecha a 2600 °F (1427 °F) en la figura 14 indica el aumento de CO con el tiempo en la zona 3.

- En la figura 15 se dan resultados analíticos de pepitas de hierro y escorias de pruebas 14 y 17 de un horno de solera lineal, junto con esos resultados para otra prueba 15. En la prueba 15 del horno de solera lineal se utilizó una bandeja que presentaba una disposición de mezclas de alimentación en cúpulas. La mezcla de alimentación de la prueba 15 incluye carbón bituminoso de volatilidad media en un 115% y un 110% de la cantidad estequiométrica y en composiciones de escoria (L<sub>1,5</sub>FS<sub>1</sub>) colocado sobre una capa de coque de malla -10. No se utilizó sobrecapa de material carbonoso gruesa durante estas pruebas.

- Tal como se muestra en la figura 15, el azufre en las pepitas de hierro osciló entre un 0,152 y un 0,266%, o incluso varias veces a un orden de magnitud superior a los de las pepitas de hierro formadas en el tubo de laboratorio y hornos de tipo caja con las mismas mezclas de alimentación tal como se muestra y tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 8. Se analizaron las escorias para confirmar que realmente tenían un alto contenido en cal. Aunque las relaciones CaO/SiO<sub>2</sub> variaron entre 1,48 y 1,71, se observó que las escorias tenían un alto contenido en FeO entre un 6,0 y un 6,7%. El análisis de FeO de escorias en el tubo de laboratorio y hornos de tipo caja se analizaron bajo composiciones de escoria idénticas analizadas de menos de un 1% de FeO. La formación de escorias de alto contenido en FeO era aparentemente responsable del mayor contenido en azufre en pepitas de hierro al interferir con la desulfuración. El uso de un mayor porcentaje de carbón así como el uso de coque de alto contenido en azufre (0,65% S) como capa de solera en comparación con coque de bajo contenido en azufre (0,40% S) en las pruebas de laboratorio también podría haber contribuido al elevado contenido en azufre en las pepitas de hierro. La proporción entre el azufre en la escoria y el azufre, (S)/[S], en las pepitas metálicas de hierro en peso fue sólo de 0,64 y 1,40.

- En la figura 16 se muestran los resultados analíticos de pepitas de hierro y escoria de las pruebas de hornos de solera lineal 14, 15 y 17, junto con pruebas adicionales 21 y 22. El carbono y el azufre en pepitas de hierro y hierro, FeO y azufre en escorias se resumen para dichas pruebas. En las pruebas de horno de solera lineal 21 y 22 se utilizó un palé que tiene una disposición de diferentes mezclas de alimentación en cúpulas de 6 segmentos. La mezcla de alimentación incluye carbón bituminoso de volatilidad media en los porcentajes indicados de la cantidad

estequiométrica, tal como se muestra en la figura 16 y en las composiciones de escoria indicadas tal como se muestra en la figura 16, colocada sobre una capa de coque de malla -10. La temperatura en la zona 3 era de 25 °F (13,9 °C) superior a 2625 °F (1441 °C) en las pruebas 21 y 22.

- 5 Tal como se muestra en la figura 16, el FeO en las escorias se redujo a la mitad cuando se aumentó la adición de fluorita en un 2% con una disminución concomitante de azufre en pepitas de hierro. A la vista de los resultados de la prueba 17 con una adición de fluorita de un 2%, el menor FeO podría haber sido el resultado de una temperatura más elevada de 2625 °F (1441 °C).
- 10 Tal como muestran estas pruebas, las novedosas pepitas metálicas de hierro con menos de un 0,05% de azufre pueden producirse con la adición de aditivos a la mezcla reducible. Sin embargo, estos aditivos se añaden a los costes de producción de las pepitas metálicas de hierro del proceso descrito.

#### Pruebas con sobrecapa gruesa en el horno de solera lineal

- 15 Estas pruebas fueron preformadas con una sola capa de aglomerados, pero se cree que los resultados son relevantes para múltiples capas de aglomerados descritos en los párrafos [0142] y siguientes.

En los productos resultantes de las pruebas de hornos de solera lineales se analizó la cantidad de azufre en las pepitas metálicas de hierro formadas mediante el proceso y la cantidad de formación de micro-pepitas. Estas pruebas del horno de solera lineal revelaron que unos niveles inesperadamente altos de CO<sub>2</sub> y gas del horno altamente turbulento adyacente a la mezcla de alimentación reducible durante el proceso de reducción consumen gran parte del material carbonoso (por ejemplo, material reductor añadido en la mezcla que contiene hierro reducible) en las zonas 1 y 2, y no se dejó suficiente material reductor para la carburación y la fusión del hierro metálico en la zona de alta temperatura (zona 3). Se consideró necesario utilizar carbón en una cantidad entre un 105 y un 125 por ciento de la cantidad estequiométrica para la formación de pepitas metálicas de hierro totalmente fusionada.

Las pruebas se realizaron utilizando un horno de solera lineal de gas natural de 40 pies de largo (12,19 m) que incluye tres zonas de calentamiento y una sección de enfriamiento como la descrita con referencia a la figura 3. El programa de calentamiento de las muestras de alimentación en el horno se modificó para eliminar la deflexión entre la zona de reducción (zona 2) y la zona de fusión o alta temperatura (zona 3). No se añadió Mg deliberadamente más allá de una pequeña cantidad o impurezas que se encuentran en los materiales utilizados.

En las pruebas se utilizaron unas bandejas (o palés) de muestra tal como se ilustra en la figura 22. Las bandejas estaban realizadas a partir de una estructura de acero al carbono de 30 pulgadas cuadradas y se alinearon con el tablero de fibra de alta temperatura (con paredes laterales) para contener muestras (es decir, la mezcla reducible y productos resultantes después de la finalización del procesamiento de reducción. Las bandejas fueron transportadas a través del horno mediante un sistema de viga galopante de accionamiento hidráulico, tal como se describe con referencia a la figura 3. Se utilizó una capa de 1/2" (12,7 mm) de carbón de antracita con un tamaño de partícula entre malla 6 y 100 en cada una de las pruebas que se describen más adelante en esta sección, salvo que se indique lo contrario.

La bandeja de muestras se desplazó por la zona 1 a 1800 °F (982 °C) durante 3 minutos sin parar, después por la zona 2 a 2400 °F (1316 °C) desplazándose una carrera de 5,5" (140 mm) cada 16 segundos durante un tiempo total de 5 minutos. Después, la bandeja se desplazó hacia el centro de la zona 3 (en 55 segundos) durante un tiempo total de 10 minutos. La bandeja esperó en la zona 3 a 2600 °F (1427 °C) durante un tiempo lo suficientemente largo para determinar visualmente la fusión de los montones o briquetas, y después se desplazó hacia la zona de enfriamiento sin pararse. La bandeja esperó en la zona de enfriamiento durante 20 minutos y después se descargó.

En pruebas anteriores se encontró que la sobrecapa de coque gruesa redujo la cantidad de micro-pepitas de un 1 a un 2%, en comparación con el 10-15% sin cobertura de coque grueso. En las pruebas anteriores, la adición de carbón de un 85% de la cantidad estequiométrica de nuevo generó menores cantidades de micro-pepitas.

El contenido de azufre en las pepitas metálicas de hierro se analizó a aproximadamente un 0,04%. Es evidente que la sobrecapa de coque gruesa de un 50% (0,5 libras/pies<sup>2</sup>, 2,44 kg/m<sup>2</sup>) provocó que se doblara el contenido de azufre en la prueba anterior con una sobrecapa de 1,0 libras/pies<sup>2</sup>, 4,88 kg/m<sup>2</sup>, y se mantuvo, sin embargo, por debajo de un 0,05% de S. Un aumento del carbón reductor en la mezcla reducible de un 85-95% de la cantidad estequiométrica pareció aumentar el % de S en las pepitas de hierro, lo que sugiere que la mayor parte del azufre procedía de carbón reductor. El contenido de Fe y FeO de la escoria se encontraba en el mismo intervalo que en la prueba con cobertura completa (1,0 libras/pies<sup>2</sup>, 4,88 kg/m<sup>2</sup>), pero el contenido de azufre de la escoria fue algo inferior a un 1%.

La conclusión de esta serie de pruebas es que el uso de una sobrecapa de coque gruesa de 0,5 a 1,0 libras/pies<sup>2</sup> (50 a 100% de cobertura, 2,44-4,88 kg/m<sup>2</sup>) permitía la formación de pepitas metálicas completamente fusionadas y reducía el azufre en pepitas de hierro por debajo de un 0,03%.

5 La prueba LHF 26 en la figura 22 son briquetas secas con una sobrecapa de coque gruesa. Para investigar el efecto de la sobrecapa de coque gruesa sobre briquetas secas, se dispusieron dos columnas de briquetas secas a un 80% y un 110% de la cantidad estequiométrica de carbón sin un aglutinante tal como se muestra en la figura 22. A las briquetas se les proporcionó una sobrecapa de coque gruesa con un tamaño de partícula entre 1/4" (6,35 mm) y 1/2" (12,7 mm) a 1,0 y 0,75 lb/pies<sup>2</sup> (4,88 y 3,66 kg/m<sup>2</sup>) en filas (a) y (b), respectivamente. Se colocó una hoja de papel  
10 sobre las mezclas de alimentación para evitar la mezcla accidental con coque grueso cuando el coque se distribuyó sobre la mezcla de alimentación reducible. La alimentación recubierta con coque se muestra en la figura 23. La bandeja se mantuvo a 2552 °F (1400 °C) durante 20 minutos en la zona 3.

Tal como se muestra en la figura 24, los productos de las briquetas se fundieron al 100% en pepitas metálicas. La  
15 mayoría de las pepitas de hierro en la periferia, particularmente a 0,75 lb/pies<sup>2</sup>, que es la sección (b), estaban asociadas a la escoria cubierta de negro, mientras que la escoria asociada a las pepitas de hierro en el interior eran esencialmente blancas. Esta diferencia se atribuyó al hecho de que las partículas de coque gruesas rodaron alrededor de la periferia y las pepitas de hierro fundido y la escoria quedaron expuestas al gas del horno turbulento y se oxidaron en la periferia. Los resultados analíticos se muestran en la figura 21. Las pepitas metálicas de hierro  
20 analizadas tenían un 0,030% de S y un 3,68% de C, mientras que la escoria analizada tenía un bajo contenido en hierro y un 1,39% de S. La proporción de azufre en la escoria sobre el azufre en las pepitas metálicas en peso, (S)/[S], se calculado que era de 46.

Se seleccionaron dos pepitas de hierro y escoria asociadas de la sección (c) con una cobertura de coque de 0,75  
25 lb/pies<sup>2</sup>, y se analizaron. Los resultados analíticos se muestran en la figura 21. Los análisis de azufre de las pepitas de hierro fueron de un 0,034% de S y los análisis del hierro de la escoria fueron de un 0,26% de Fe y un 0,54% de FeO. La proporción de azufre en la escoria sobre el azufre en las pepitas en peso, (S)/[S], fue de 33.

La prueba LHF 29 eran briquetas con diferentes grados de sobrecapa de coque gruesa a una temperatura inferior.  
30 En la prueba LHF 26, los productos formados a 1427 °C (2600 °F) se fundieron todos en pepitas metálicas de hierro. En esta prueba, se envió una bandeja idéntica de briquetas secas recubiertas con coque grueso, tal como se muestra en la figura 22, a través del horno de acuerdo con el programa de calentamiento normalizado, pero con la temperatura de la zona 3 reducida a 1399 °C (2550 °F) y se mantuvo a esa temperatura durante 20 minutos.

35 Todas las briquetas se fundieron totalmente en pepitas metálicas de hierro. Las pepitas de hierro, sin embargo, eran notablemente más pequeñas que las de los montones ya que las briquetas eran sólo la mitad del tamaño y peso de los montones. Los pesos de las pepitas metálicas se muestran en la figura 20.

Las micro pepitas en un 80% de la cantidad estequiométrica de carbón eran bajas, un 1,0 y un 0,5%, para  
40 sobrecapas de coque gruesas con un tamaño de partícula entre 1/4" (6,35 mm) y 1/2" (12,7 mm) en una cobertura de 1,0 y 0,75 lb/pies<sup>2</sup> (4,88 y 3,77 kg/m<sup>2</sup>), respectivamente. Mientras tanto, las que se encontraban a un 110% de la cantidad estequiométrica de carbón eran notablemente más altas, un 5,0 y un 3,5%, para sobrecapas de coque gruesas de una cobertura de 1,0 y 0,75 lb/pies<sup>2</sup> (4,88 y 3,77 kg/m<sup>2</sup>), respectivamente. Por lo tanto, de nuevo, tal como se ha observado anteriormente, la generación de micro-pepitas fue menor de un 80% de la cantidad  
45 estequiométrica de carbón en la mezcla reducible. Se observa también que la cobertura más baja por la sobrecapa de coque gruesa genera menos micro-pepitas.

En la figura 21 se muestran los resultados analíticos. Los resultados mostraron que las pepitas de hierro se habían  
50 sometido a una metalización sustancialmente completa. Se determinó que las pepitas de hierro analizadas eran entre un 0,016 y un 0,029% de S, mientras que la escoria analizada era esencialmente Fe y 0,23 FeO. La proporción de azufre sobre la escoria en azufre en las pepitas en peso, (S)/[S], varió entre 45 y 82.

Haciendo referencia a la figura 25, la relación (es decir, la proporción) de azufre sobre la escoria en azufre en las  
55 pepitas metálicas, (S)/[S], se representa gráficamente como una función del porcentaje en peso de azufre en las pepitas para las diferentes pruebas que se han realizado. Los cuadrados llenos (■) son para las pruebas LHF en mezclas de alimentación reducibles utilizando un concentrado de taconita de 5,3% de SiO<sub>2</sub>, una composición de escoria L<sub>1,5</sub>FS<sub>2</sub>, y carbón *Fording Standard* estequiométrico al 80%. Los cuadrados huecos (□) son para pruebas de hornos de tipo caja sobre una mezcla de alimentación reducible utilizando un concentrado de taconita de 3,6% de SiO<sub>2</sub>, una composición de escoria L<sub>1,5</sub>FS<sub>2</sub>, y carbón *Jim Walter* estequiométrico al 80%.

60 Los puntos de datos para la relación (S)/[S] anterior 12 fueron para las pruebas sin la sobrecapa de coque gruesa y los otros son para pruebas con sobrecapa de coque gruesa sin Mg añadido deliberadamente lo que produce niveles de producción de Mg entre un 5% y un 13% de MgO en la escoria. Tal como se muestra por los datos representados en la figura 25, el contenido de azufre en la escoria se aumenta mediante el uso de la sobrecapa carbonosa gruesa,

y que cuando la relación (S)/[S] es de 30 o más, el contenido de azufre en las pepitas metálicas de hierro que se producen era de un 0,03% o menos. Estas últimas pepitas metálicas de hierro son particularmente útiles en procesos de fabricación de acero tales como el horno de arco eléctrico, debido a que las pepitas de hierro pueden sustituirse para desechos en la carga.

5

La sobrecapa de coque gruesa permitió la carburación tanto de la capa de solera como de la sobrecapa de coque gruesa. La disponibilidad de carbono de la sobrecapa gruesa resulta ventajoso para la reducción de los requerimientos globales de temperatura de procesamiento, a la vez que se crean las condiciones de reducción necesarias para permitir la separación efectiva de azufre en la escoria.

10

A la vista de lo anterior, en algunas realizaciones del presente proceso, el uso de una mezcla de alimentación reducible que incluye una mezcla reducible, sobre la capa de solera, que tiene una cantidad predeterminada de material reductor de entre aproximadamente un 70 por ciento y aproximadamente un 90 por ciento de la cantidad estequiométrica del material reductor y con un material carbonoso grueso o una sobrecapa de un material de interrupción del flujo de gas turbulento sobre por lo menos una parte de la capa de la mezcla reducible tiene como resultado la metalización completa de la misma, y también reduce el potencial para la formación de micro-pepitas. El resultado fue reproducido con los hornos de tipo caja y tubular. En otras palabras, puede utilizarse una cantidad sub-estequiométrica de material reductor (por ejemplo, carbón) con la sobrecapa para obtener una metalización casi completa y la formación de pepitas metálicas de hierro a partir de una cantidad predeterminada de material que

20

contiene hierro reducible, proporcionando el material reductor (por ejemplo, carbón) y el material que contiene hierro una mezcla de alimentación reducible para el procesamiento según una o más de las realizaciones que se describen aquí.

Se reconocerá que pueden utilizarse diversas formas de los compactos preformados, manteniéndose la ventaja de tener una mezcla de alimentación con una cantidad sub-estequiométrica de material reductor (por ejemplo, carbón) junto a la capa de solera para minimizar la formación de micro-pepitas. Las configuraciones de los aglomerados que se describen aquí se dan sólo para ilustración.

25

#### **Pruebas con múltiples capas de aglomerados y una sobrecapa gruesa.**

30

Se realizaron pruebas para determinar las ventajas de la utilización de múltiples capas de aglomerados en la producción de hierro nodular reducido ("NRI"). Las pruebas se realizaron con briquetas como aglomerado, una capa de material de solera, y una sobrecapa o capa de cubierta gruesa. La producción de NRI aumenta si, por ejemplo, el tiempo de procesamiento con dos capas de aglomerados es menor que un aumento de un cien por cien (100%) con el tiempo de procesamiento con una sola capa de aglomerados; o si el tiempo de procesamiento con tres capas de aglomerados es menor que un aumento de un doscientos por ciento (200%) en el tiempo con una sola capa de aglomerados.

35

La capa de material de solera y la capa de cubierta se investigaron inicialmente para determinar cómo afecta el grosor o la densidad de cada una a la fusión de NRI para diferentes capas de aglomerado. La figura 26 es una tabla que resume el tiempo de fusión para el NRI en minutos ya que se refiere al número de capas de aglomerado, grosor de la capa de material de solera, y densidad de la capa de cubierta. Tal como se muestra en la figura 26, el tiempo de fusión para aglomerados aumenta a medida que aumenta el número de capas de aglomerados, a medida que aumenta el grosor de la capa de material de solera, y a medida que aumenta la densidad de la capa de cubierta.

45

La figura 27 detalla la productividad de la fusión de NRI, expresado como la relación entre el número de aglomerados en un lote y el tiempo de fusión en minutos. Tal como se ilustra, la productividad aumentaba a medida que aumentaba el número de capas de aglomerados, a medida que se reducía el grosor de la capa de solera, y a medida que se reducía la densidad de la capa de cubierta. Tal como muestra la figura 27, la productividad aumentaba un 10-20% cuando la capa de cobertura se reducía entre 1 y 0,75 lb/pies<sup>2</sup>; (entre 4,88 y 3,66 kg/m<sup>2</sup>); un 15-20% cuando el grosor de la capa de material de solera se reducía de 1" a 1/2" (de 25,4 mm a 12,7 mm); aumentaba de un 40-50% cuando se aumentaron los aglomerados de capas individuales a capas dobles; y un 50-60% al aumentar los aglomerados de capas individuales a capas triples en el procesamiento. Además, la productividad aumentó un 100% cuando el grosor de la capa de solera se redujo de 1" a 1/2" (de 25,4 mm a 12,7

55

mm); la capa de cubierta se redujo de 1 libras/pies<sup>2</sup> (4,88 kg/m<sup>2</sup>) a 0,75 libras/pies<sup>2</sup> (3,66 kg/m<sup>2</sup>) y se utilizaron capas de aglomerados dobles y triples en procesamiento.

Por lo tanto, estas pruebas demuestran los beneficios para la productividad cuando se procesan varias capas de aglomerados. Además, en algunas realizaciones se contempla que las múltiples capas de aglomerados pueden colocarse en una capa de material de solera de por lo menos material carbonoso y una sobrecapa material grueso carbonoso puede colocarse sobre las capas de aglomerados.

60

En algunas realizaciones, puede ser beneficioso referirse a la altura total de aglomerados como estrato de aglomerados. Un estrato de aglomerados puede comprender o no capas discretas, o puede comprender

parcialmente una o más capas discretas de aglomerados. Si se coloca, por ejemplo, una pluralidad de aglomerados sobre una capa de material de solera y durante la colocación de los aglomerados se produce algún apilamiento de aglomerados, el estrato de aglomerados puede no comprender completamente capas discretas. Sin embargo, un estrato de aglomerados de este tipo puede aumentar de manera efectiva la productividad de la producción de NRI.

5 Con algunos aglomerados, la altura real de dos capas muy compactas (altura del estrato) puede ser aproximadamente entre 1,8 y 1,9 veces la altura de una sola capa debido a la anidación parcial de la capa superior de aglomerados en el espacio intersticial de la capa inferior. Con aglomerados más sueltos, la altura de dos capas puede ser entre 1,5 y 1,8 veces la altura de una sola capa, y más típicamente aproximadamente entre 1,7 y 1,8  
10 veces la altura de una sola capa.

Por lo tanto, en todas las realizaciones del procedimiento descrito, puede utilizarse un estrato de aglomerados en el que la altura del estrato sea por lo menos 1,7 veces la altura de una sola capa de aglomerados. Más particularmente, algunos aglomerados como briquetas o extrusiones incluyen una dimensión o longitud mayor más  
15 grande y una dimensión o altura menor más pequeña. Por otra parte, con las bolas, la dimensión mayor y la dimensión menor serían iguales. Una realización de ejemplo de una briketa puede tener una dimensión de 1,33 pulgadas por 0,84 pulgadas por 0,56 pulgadas (33,78 mm por 21,34 mm por 14,22 mm). Dichas briquetas tendrían una dimensión mayor de 1,33 pulgadas (33,78 mm) y una dimensión menor de 0,56 pulgadas (14,22 mm). Por lo tanto, se contempla que todas las realizaciones del procedimiento descrito pueden comprender un estrato de  
20 aglomerados en el que la altura del estrato comprende por lo menos 1,7 veces la dimensión menor de los aglomerados individuales.

Se realizaron también otras pruebas sobre cómo afecta la compactación de los aglomerados al tiempo de fusión frente a aglomerados sueltos. Las figuras 31-34 ilustran esquemáticamente secciones transversales de aglomerados  
25 y pelotas sueltos y compactos. Las pruebas también se realizaron en briquetas como aglomerado, con una capa de material de solera y una sobrecapa o capa de cubierta gruesa. Tal como se ilustra en la figura 28, a medida que los aglomerados se volvían más densamente compactos en una capa determinada, el tiempo de fusión bruto aumentaba, pero la productividad aumentaba. Del mismo modo, a medida que aumentaba el número de capas, el tiempo de fusión bruto aumentaba, pero la productividad aumentaba. En otras palabras, las tasas de procesamiento  
30 de los aglomerados, expresadas como la relación entre la densidad de carga y el tiempo de fusión en lb/pies<sup>2</sup>/hr, aumentaba a medida que aumentaba el número de capas y a medida que aumentaba la densidad de carga o densidad ("densidad de carga") de los aglomerados. Las tasas de procesamiento fueron más elevadas (8,4 lb/pies<sup>2</sup>/hr) (41,01 kg/m<sup>2</sup>/h) en aglomerados compactos en tres capas - un 233% más elevadas que aglomerados sueltos en una capa.

35 Por lo tanto, en algunas realizaciones del procedimiento descrito, los aglomerados pueden colocarse en una o más capas, donde la densidad de carga de la(s) capa(s) es de por lo menos 2,5 lb/pies<sup>2</sup>/capa (12,21 Kg/m<sup>2</sup>/capa), por lo menos 2,8 lb/pies<sup>2</sup>/capa (13,67 Kg/m<sup>2</sup>/capa), o 3 lb/pies<sup>2</sup>/capa (14,65 kg/m<sup>2</sup>/capa) o mayor.

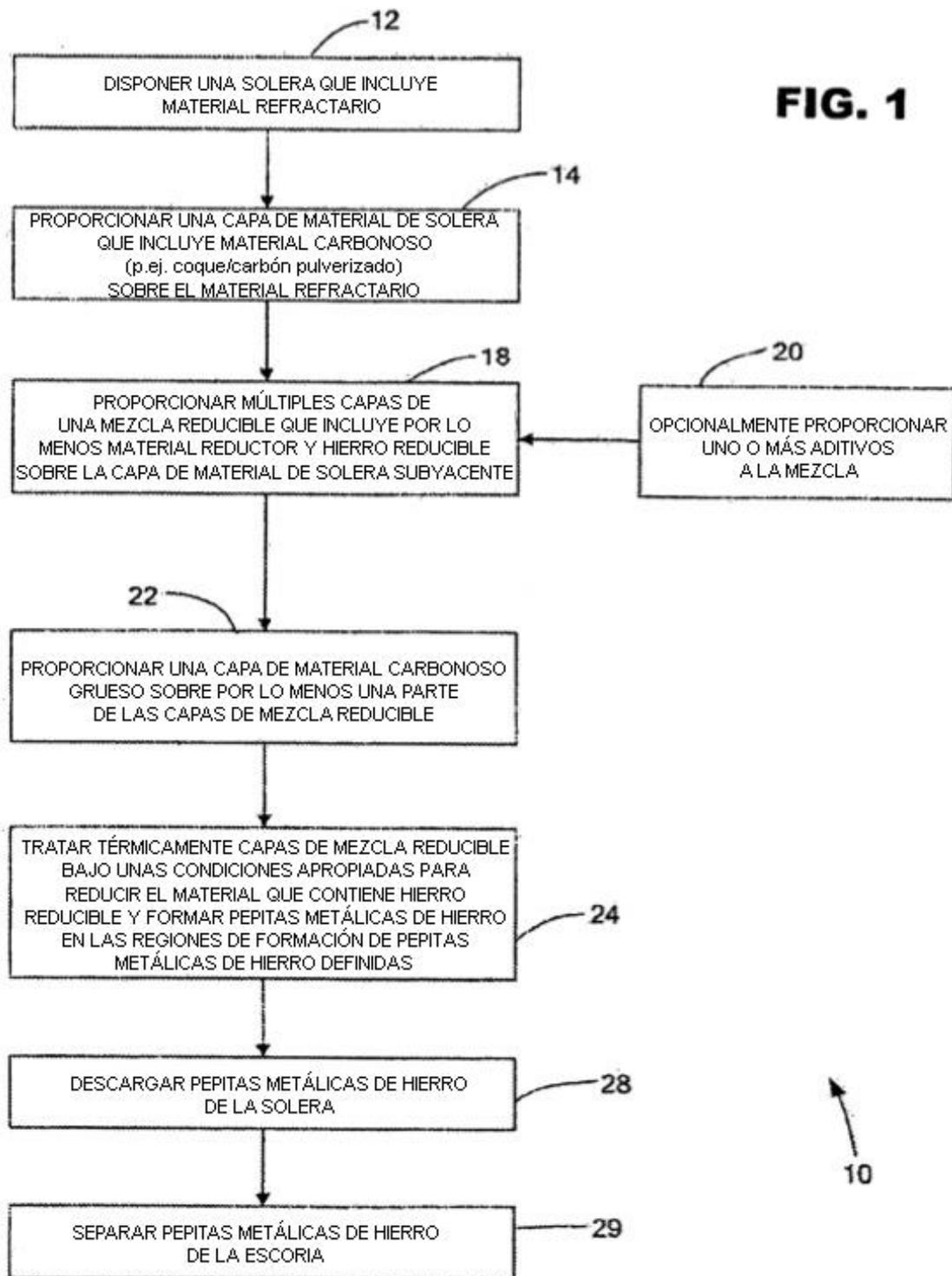
**REIVINDICACIONES**

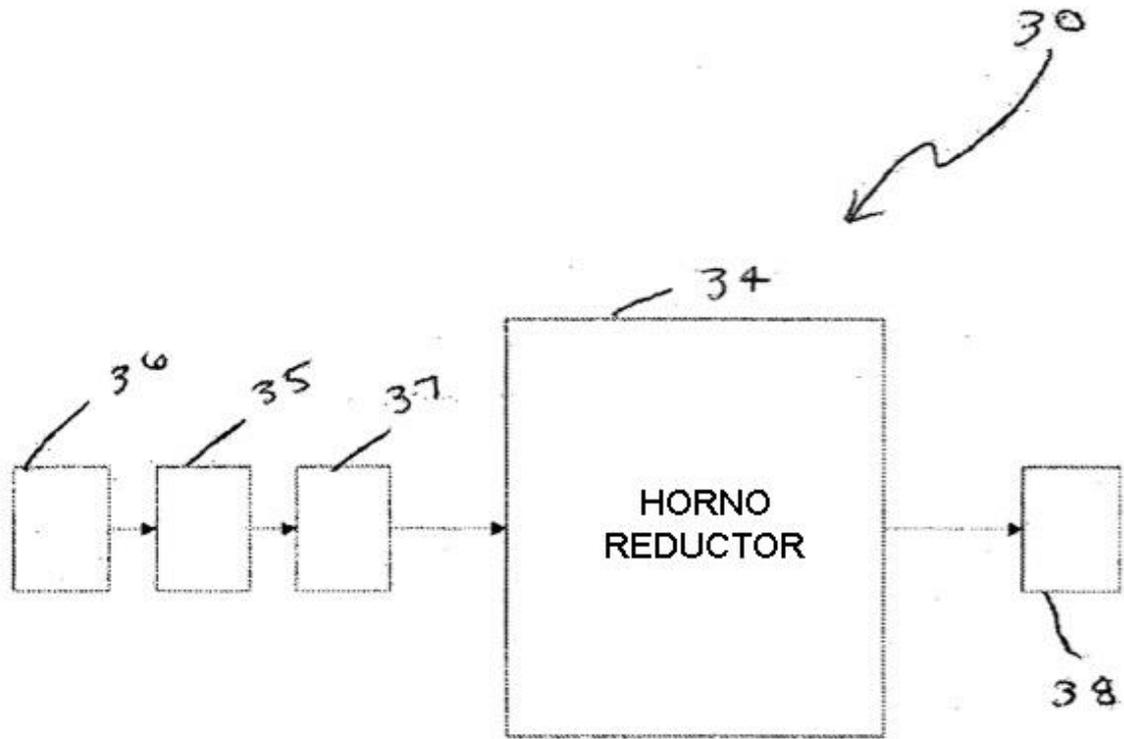
1. Procedimiento (10) para producir pepitas metálicas de hierro que comprende las etapas de:
  - 5            disponer (12) una solera (42) que comprende material refractario,  
              colocar (14) una capa de material de solera (44) que comprende por lo menos material carbonoso  
sobre el material refractario,  
              colocar (18) sobre la capa de material de solera (44) un estrato (46) de aglomerados que comprende  
material reductor y material que contiene hierro reducible, en el que el estrato (46) tiene una dimensión mayor y una  
10 dimensión menor, donde el estrato (46) tiene una profundidad media de por lo menos 1,7 veces una dimensión  
menor de los aglomerados, y  
              calentar (24) los aglomerados para formar a partir de por lo menos algunos de los aglomerados  
pepitas metálicas de hierro y escoria,  
              caracterizado por el hecho de que el estrato (46) de aglomerados tiene una densidad de carga de los  
15 aglomerados de por lo menos 12,2 kg/m<sup>2</sup>/capa.
  2. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 1, en el que la capa de material de  
solera (44) comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en  
coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
  - 20 3. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 2, en el que el carbón no  
coquizable es carbón sub-bituminoso.
  4. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 3, en el que el carbón sub-  
25 bituminoso es carbón de *Powder River Basin*.
  5. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 2, 3 ó 4, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 75% de la capa de material de solera (44).
  - 30 6. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 2, 3 ó 4, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 50% de la capa de material de solera (44).
  7. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 2, 3 ó 4, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 25% de la capa de material de solera (44).
  - 35 8. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 1, en el que la capa de material de  
solera (44) comprende una mezcla de carbón no coquizable y un material seleccionado del grupo que consiste en  
coque, residuo de carbón y otro material carbonoso.
  - 40 9. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 8, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 75% de la capa de material de solera (44).
  10. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 8, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 50% de la capa de material de solera (44).
  - 45 11. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 8, en el que el carbón no  
coquizable es menos de un 25% de la capa de material de solera (44).
  12. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en  
50 el que los aglomerados se seleccionan entre por lo menos uno del grupo que consiste en briquetas, extrusiones y  
bolas.
  13. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que  
comprende, además, la etapa de proporcionar una sobrecapa (49) material carbonoso grueso en por lo menos una  
55 parte de los aglomerados.
  14. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según la reivindicación 13, en el que la sobrecapa (49)  
de material grueso tiene una densidad de carga de 0,75 lb/pies<sup>2</sup> (3,66 kg/m<sup>2</sup>).
  - 60 15. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en  
el que el estrato (46) comprende por lo menos dos capas de aglomerados.
  16. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en  
el que el estrato (46) comprende por lo menos tres capas de aglomerados.

17. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el estrato (46) comprende por lo menos cuatro capas de aglomerados.

5 18. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el estrato (46) comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga es por lo menos  $2,9 \text{ lb/pies}^2/\text{capa}$  ( $14,16 \text{ kg/m}^2/\text{capa}$ ).

10 19. Procedimiento para producir pepitas metálicas de hierro según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el estrato (46) comprende por lo menos dos capas de aglomerados, y en el que una densidad de carga es por lo menos  $14,65 \text{ kg/m}^2/\text{capa}$ .



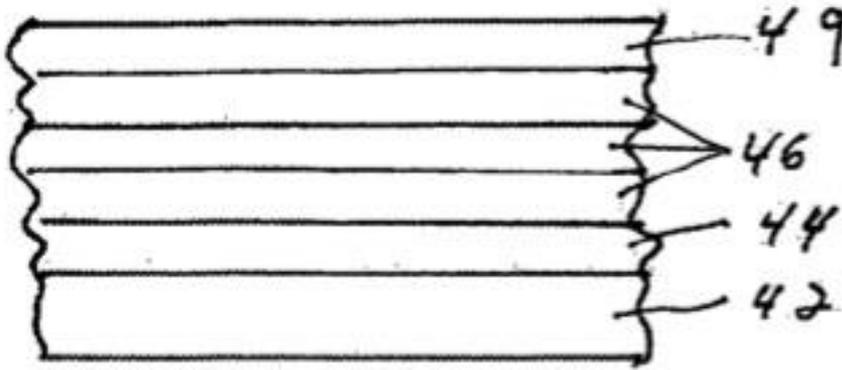


**FIG. 2**

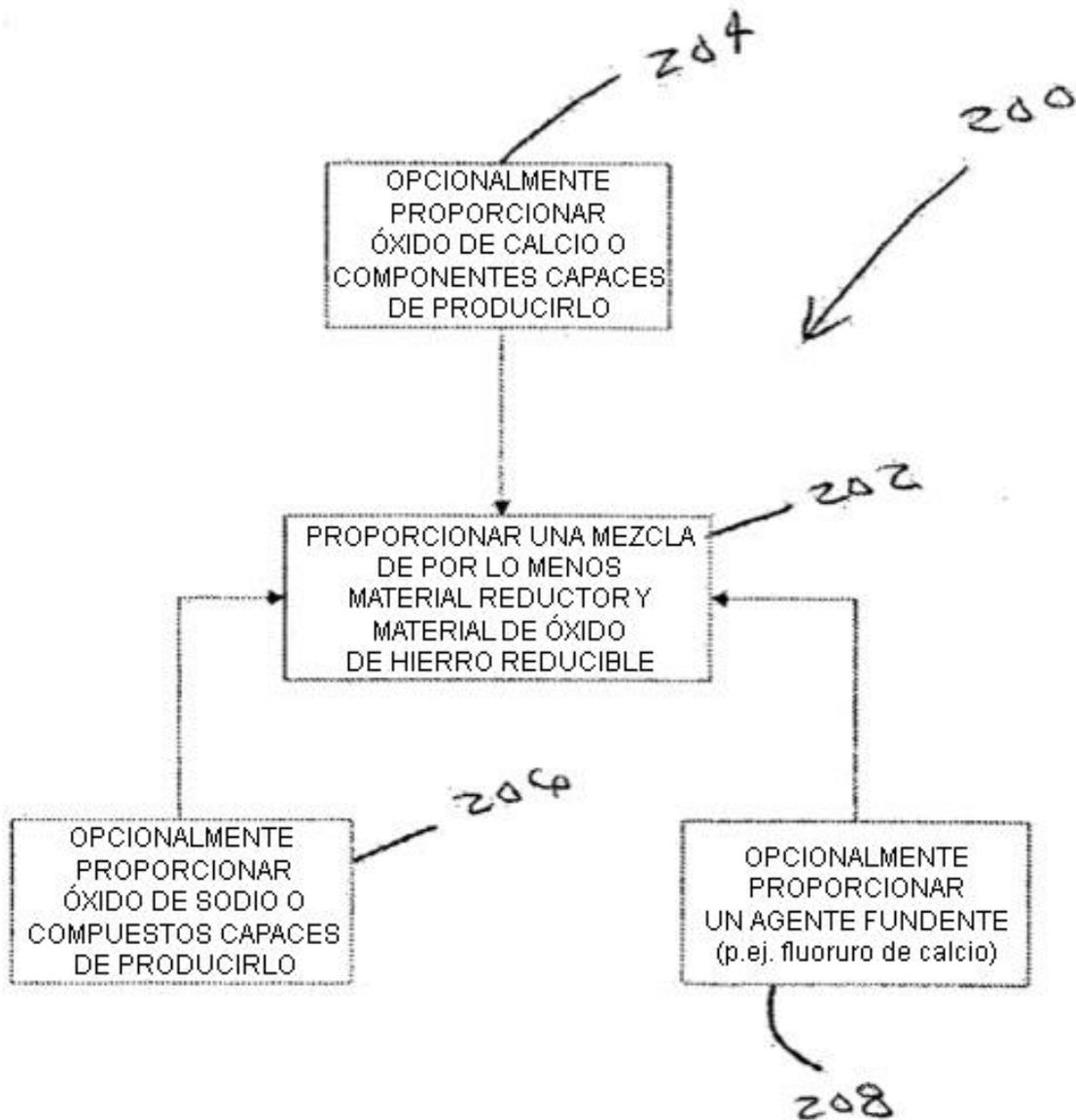


	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe	S	LOI
Al(OH) <sub>3</sub> I	---	29,94	---	---	---	---	---
Al(OH) <sub>3</sub> II	---	55,90	---	---	---	---	---
Bauxita	2,53	57,35	0,09	0,04	7,2	---	---
Bentonita	63,46	25,70	4,53	1,40	2,26	---	---
Ca(OH) <sub>2</sub>	---	---	75,7	---	---	---	---
Hidrato de cal	0,71	0,65	76,67	1,12	---	---	30,84
Piedra caliza	0,70	0,27	47,90	0,95	0,10	---	43,99
Cemento Portland	19,61	4,63	66,65	3,32	1,77	0,90	---

**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**

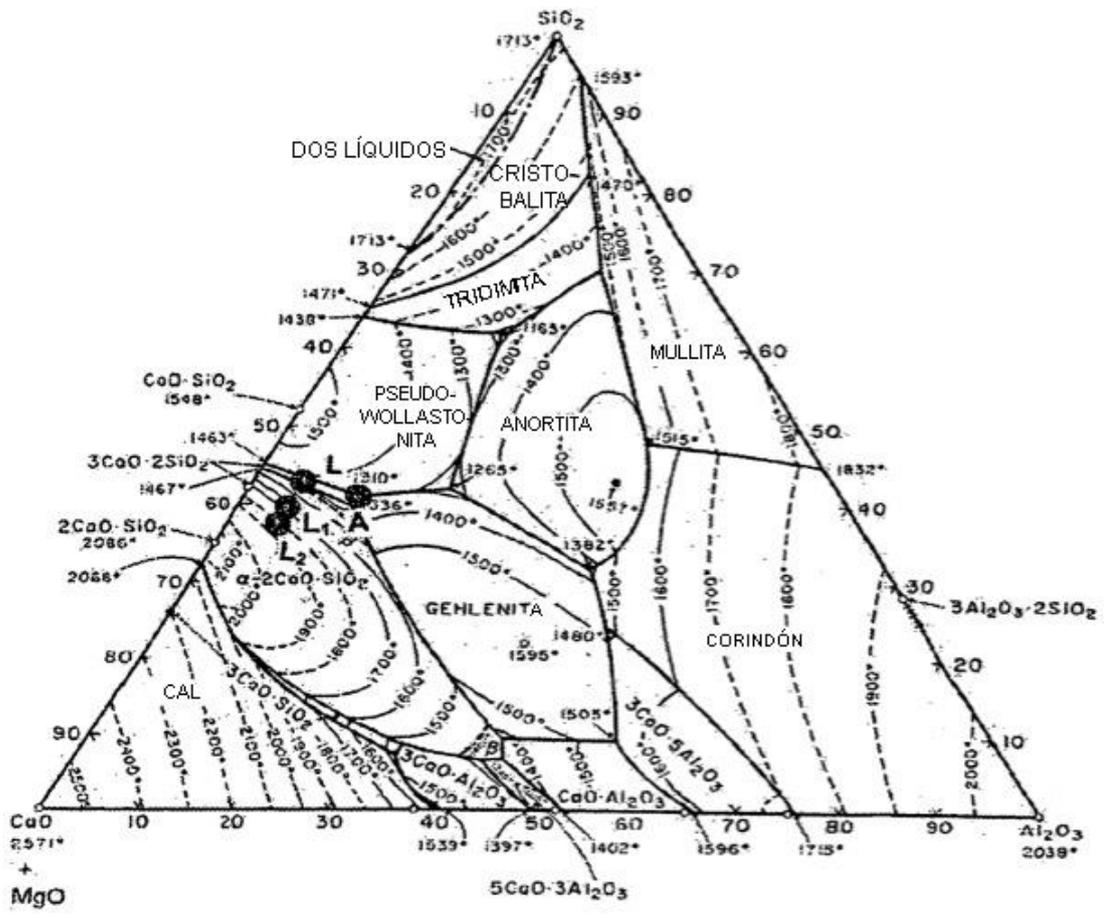


FIG. 7

Fluorita añadida, %	Comp. escoria	L <sub>1</sub>		L <sub>1,5</sub>		L <sub>2</sub>	
		%C	%S	%C	%S	%C	%S
0	L <sub>m</sub>	2,84	0,072	2,26	0,058	2,13	0,050
0,5	L <sub>m</sub> FS <sub>0,5</sub>	3,27	0,060	3,06	0,055	2,60	0,048
1	L <sub>m</sub> FS <sub>1</sub>	3,36	0,058	3,63	0,041	3,25	0,038
2	L <sub>m</sub> FS <sub>2</sub>	3,67	0,043	3,86	0,021	3,73	0,015
4	L <sub>m</sub> FS <sub>4</sub>	3,77	0,030	4,22	0,013	4,12	0,009

FIG. 8

%CaF <sub>2</sub>	Comp. escoria	Distribución de peso %			
		Pepitas	Micro pepitas	Mag. malla -20	Escoria
0	L <sub>0,5</sub>	67,6 <b>89,2*</b>	8,2 <b>10,8</b>	4,6	19,8
0.25	L <sub>0,5</sub> CF <sub>0,25</sub>	76,5 <b>98,1</b>	1,5 <b>1,9</b>	2,5	19,5
0.5	L <sub>0,5</sub> CF <sub>0,5</sub>	78,1 <b>99,4</b>	0,5 <b>0,6</b>	1,5	19,9
0.75	L <sub>0,5</sub> CF <sub>0,75</sub>	76,6 <b>97,9</b>	1,7 <b>2,1</b>	1,2	20,5
1	L <sub>0,5</sub> CF <sub>1</sub>	77,5 <b>98,9</b>	0,8 <b>1,1</b>	1,7	20,0
1.25	L <sub>0,5</sub> CF <sub>1,25</sub>	76,8 <b>99,4</b>	0,5 <b>0,6</b>	1,7	21,2
1.5	L <sub>0,5</sub> CF <sub>1,5</sub>	75,9 <b>99,1</b>	0,7 <b>0,9</b>	2,0	21,4
1.75	L <sub>0,5</sub> CF <sub>1,75</sub>	76,1 <b>99,5</b>	0,4 <b>0,5</b>	1,2	22,3
2	L <sub>0,5</sub> CF <sub>2</sub>	74,8 <b>98,7</b>	1,0 <b>1,3</b>	1,9	22,3

\*Los números en negrita representan cantidades relativas de pepitas y micro pepitas.

**FIG. 9**

CaF <sub>2</sub> añadido %	Temp. °C	% micropepitas generadas					
		L	L <sub>0,5</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>1,5</sub>	L <sub>2</sub>	
0	1400	8,8	5,3 · 10,8*	7,4**, 21,5	22,2**	26,6**	
0,5			0,6	1,4	0,6	1,7	
1		0,5	1,1, 1,2*	0,8 · 0,2	0,6	0,5	
2				1,3	0,3	1,3	0,9
4					0,2	2,2	2,4
0	1350		17,9	26,7***	16,5***	---****	
0,5				1,4	0,7**	2,2**	
1		1,6	2,5 · 0,9	2,8, 1,4 3,9*	0,6	0,4	
2				1,3	1,1	1,4	
4					1,6	1,8	2,6
0	1325			—	—	—	
0,5				—	—	—	
1				1,2**, 5,5 6,0	0,0*	8,7**	
2				0,4**	0,7*	9,5*	
4					1,4**	3,1**	2,2**

- + Se utilizó fluorita en lugar de CaF<sub>2</sub>
- \* Casi fundido
- \*\* No fundidos completamente
- \*\*\* Fundidos parcialmente
- \*\*\*\* Reducidos, pero no fusionados

**FIG. 10**

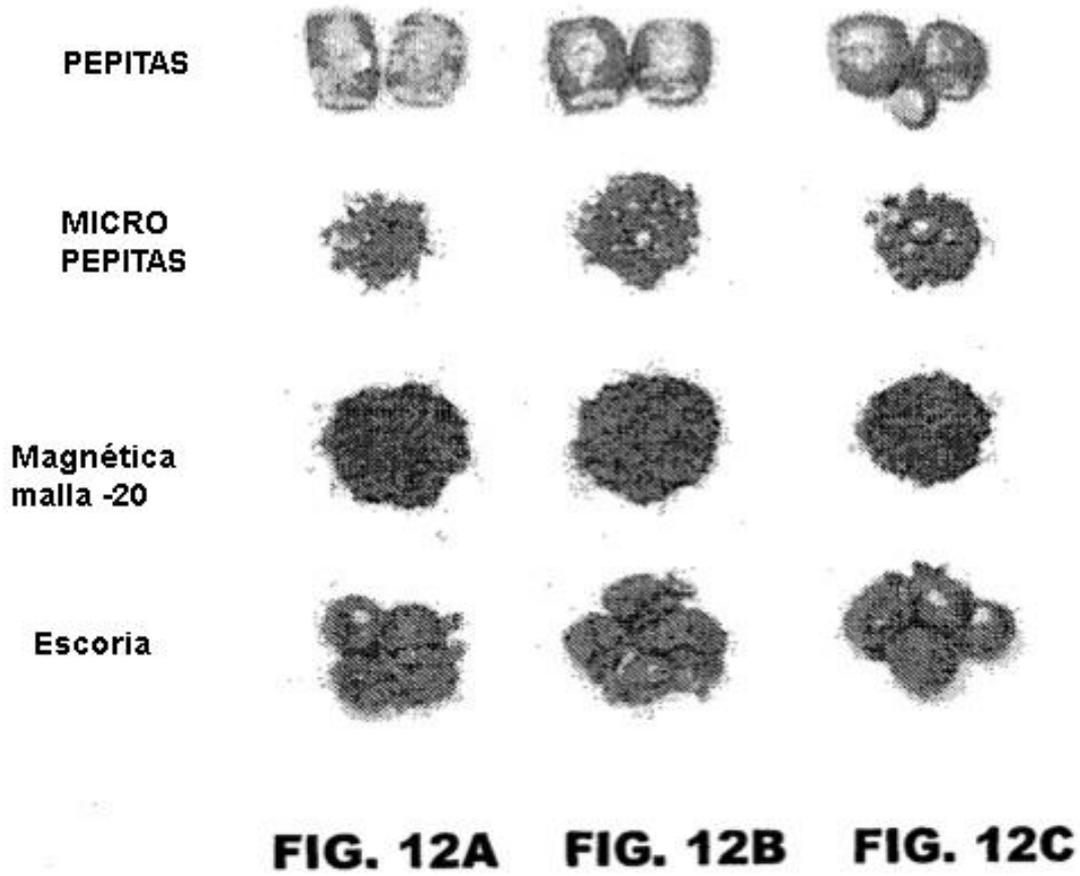
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> añadido, %	Comp. escoria	% S en pepitas de hierro				
		L	L <sub>0.5</sub>	L <sub>1**</sub>	L <sub>1.5**</sub>	L <sub>2**</sub>
0*	L <sub>m</sub>	0,084	0,081	0,072	0,058	0,050
2*	L <sub>m</sub> SC <sub>2</sub>	—	0,031	—	—	—
0	L <sub>m</sub> CF <sub>1</sub>	0,083	0,074	0,064	0,041	0,038
0.25	L <sub>m</sub> CF <sub>1</sub> SC <sub>0.25</sub>	0,069	0,053	0,045	—	—
0.5	L <sub>m</sub> CF <sub>1</sub> SC <sub>0.5</sub>	0,058	0,050	0,038	0,028	0,032
1	L <sub>m</sub> CF <sub>1</sub> SC <sub>1</sub>	0,043	0,043	0,030	0,029	0,029
2	L <sub>m</sub> CF <sub>1</sub> SC <sub>2</sub>	0,043	0,024	0,020	0,021	0,018

\* No se añadió CaF<sub>2</sub>

\*\* Se utilizó fluorita en lugar de CaF<sub>2</sub> químico

m. % cal adicional sobre la composición L

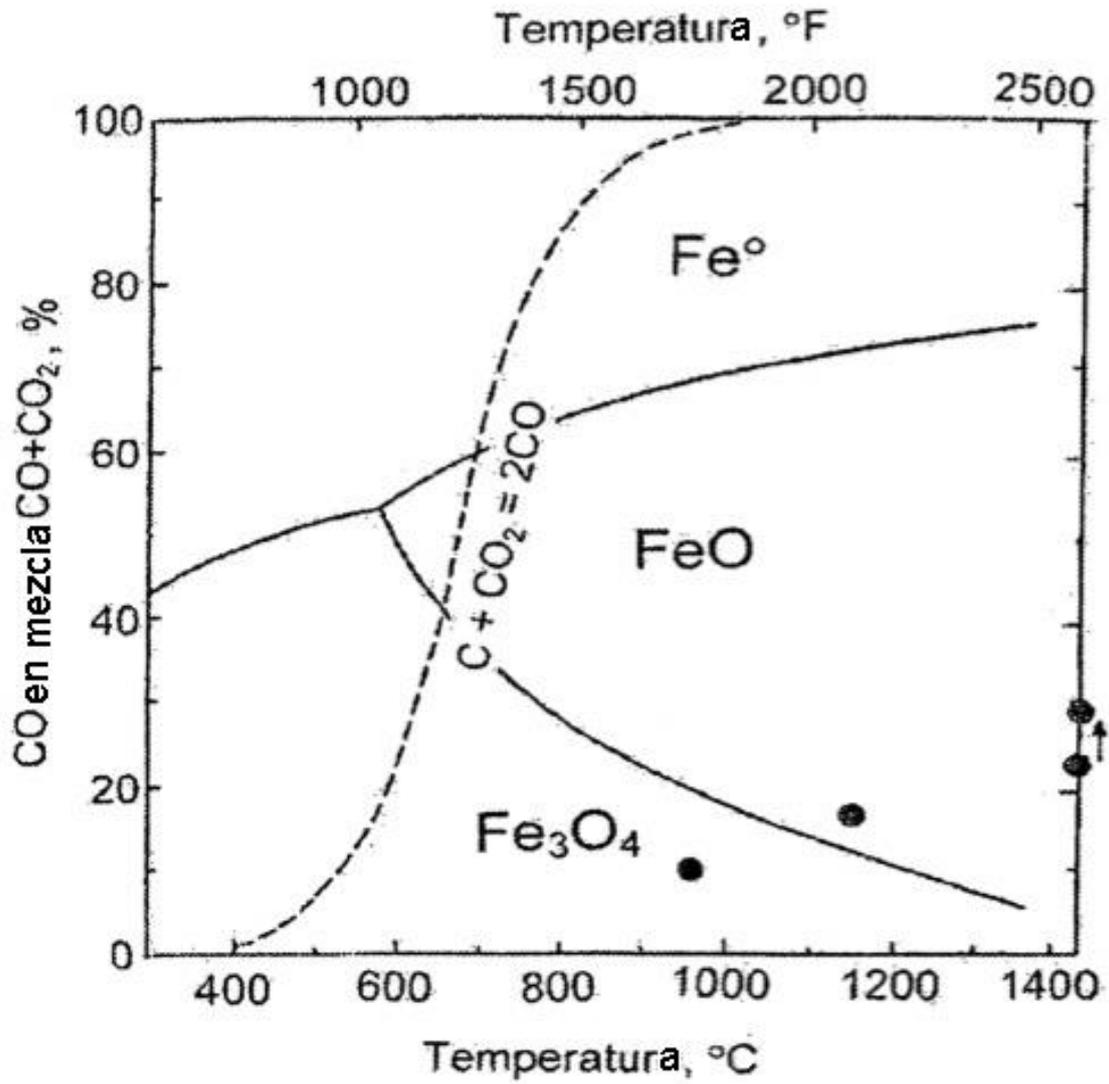
**FIG. 11**



<b>Temp. °C</b>	<b>%C</b>	<b>%S</b>
<b>1400</b>	<b>3.25</b>	<b>0.029</b>
<b>1350</b>	<b>2.89</b>	<b>0.022</b>
<b>1325*</b>	<b>2.28</b>	<b>0.013</b>

\* Casi fundido

**FIG. 13**



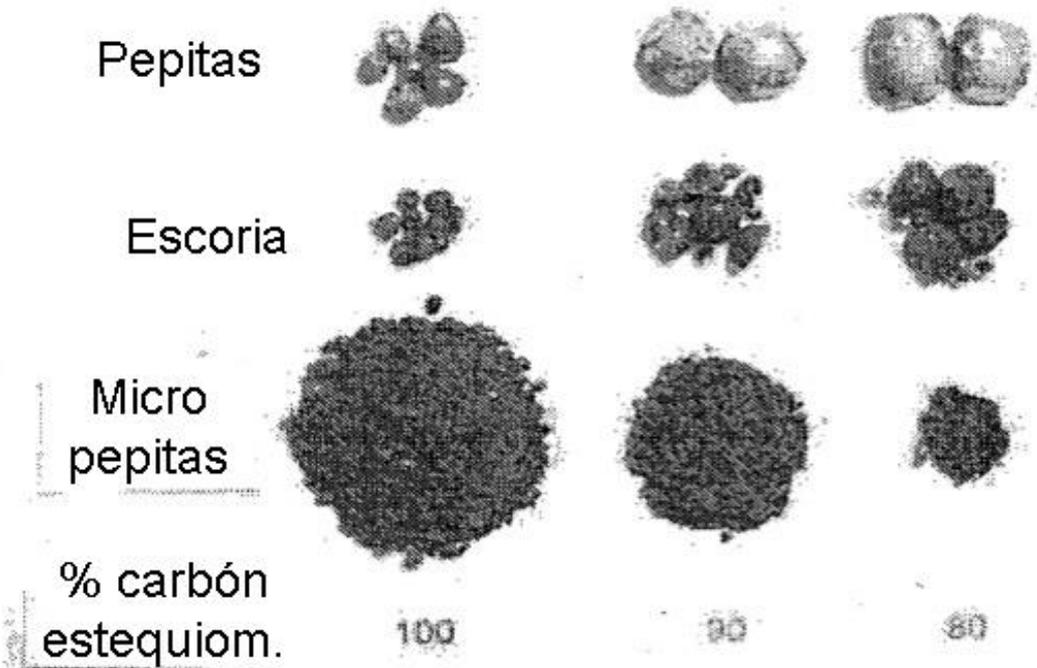
**FIG. 14**

	LHF 14	LHF 15	LHF 17
(a) Análisis de pepitas, %			
C	2,92	2,70	3,15
S	0,203	0,266	0,152
(b) Basicidad de la escoria			
CaO/SiO <sub>2</sub>	1,48	1,53	1,71
$\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3}$	1,35	1,38	1,53
(S)/[S]	0,64	0,64	1,40
(c) Analisis de escoria, %*			
Fe <sub>T</sub>	6,3	6,7	6,0
FeO	6,70	7,18	6,31
SiO <sub>2</sub>	35,01	34,03	32,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,11	5,24	5,18
CaO	51,90	52,18	55,27
MgO	2,36	2,01	1,89
S	0,129	0,169	0,213

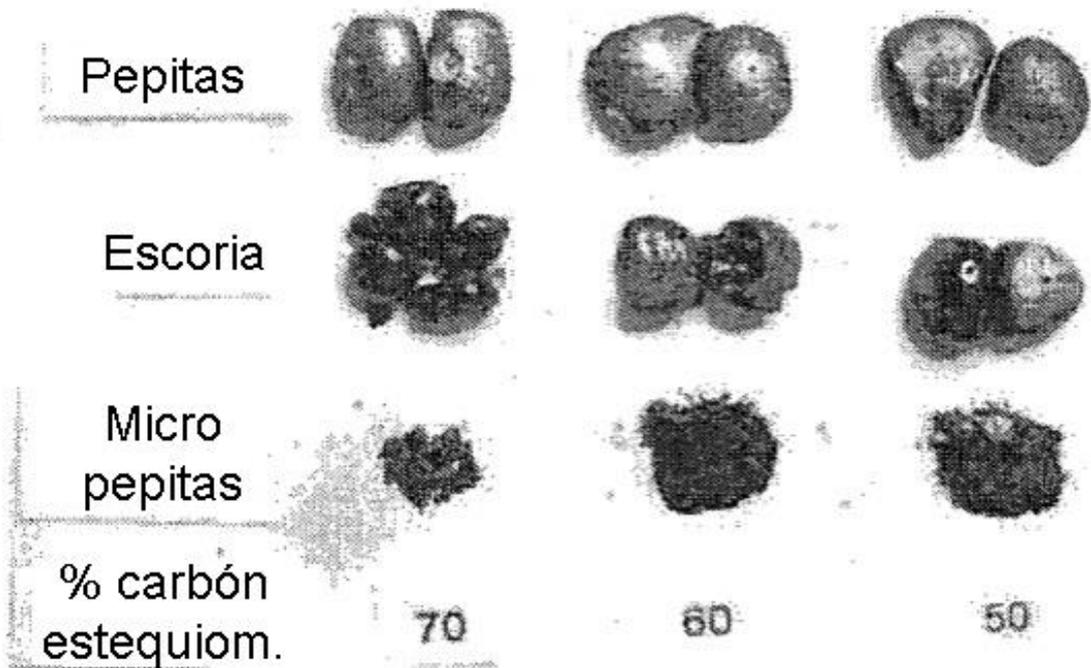
**FIG. 15**

comp. escoria carbón, %estequiom.	Pepitas		Escoria		
	%C	%S	%Fe	%FeO	%S
<b>LHF 14 (2600°F)</b>					
L <sub>1,5</sub> FS <sub>1</sub> (115%)	2,92	0,203	6,3	6,70	0,129
<b>LHF 15 (2600°F)</b>					
L <sub>1,5</sub> FS <sub>1</sub> (115%)	2,70	0,266	6,7	7,18	0,169
<b>LHF 17 (2600°F)</b>					
L <sub>1,5</sub> FS <sub>2</sub> (115%)	3,15	0,152	6,0	6,31	0,213
<b>LHF 21 (2625°F)</b>					
L <sub>1,5</sub> FS <sub>1,5</sub> (115%)	2,98	0,213	6,5	6,66	0,17
L <sub>1,5</sub> FS <sub>1,5</sub> (120%)	3,06	0,215	6,3	6,41	0,17
L <sub>1,5</sub> FS <sub>2</sub> (115%)	3,63	0,114	3,2	2,75	0,28
L <sub>1,5</sub> FS <sub>2</sub> (120%)	3,24	0,195	4,1	3,83	0,31
<b>LHF 22 (2625°F)</b>					
L <sub>1,5</sub> FS <sub>1</sub> SC <sub>1</sub> (120%)	3,05	0,169	4,2	4,06	0,21
L <sub>1,5</sub> FS <sub>2</sub> SC <sub>1</sub> (125%)	3,22	0,162	2,8	2,27	0,31
L <sub>1,5</sub> FS <sub>2</sub> SC <sub>2</sub> (125%)	3,49	0,117	3,0	2,51	0,33

**FIG. 16**



**FIG. 17**



**FIG. 18**

	Pepitas		Escoria		
	%C	%S	%Fe	%FeO	%S
<b>LHF 22</b>					
(1a) carbón 85% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,68	0,027	0,10	0,21	1,03
(2a) carbón 90% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,82	0,022	0,24	0,56	0,88
(3a) carbón 95% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,82	0,020	0,12	0,28	1,07
(1b) carbón 85% cubierta 0,5 lb/pies <sup>2</sup>	3,67	0,040	0,09	0,21	0,97
(2b) carbón 90% cubierta 0,5 lb/pies <sup>2</sup>	3,62	0,041	0,23	0,49	0,98
(3b) carbón 95% cubierta 0,5 lb/pies <sup>2</sup>	3,58	0,066	0,27	0,56	0,97

**FIG. 19**

Prueba nº	Pepitas	Micro pepitas	mag malla +20	Escoria
<b>LHF 27 (2600°F)</b>				
(a) carbón 80% cubierta 1,25 lb/pies <sup>2</sup>	79,6 <b>97,7</b>	1,9 <b>2,3</b>	1,8	16,7
(b) carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	77,3 <b>98,1</b>	1,5 <b>1,9</b>	0,7	20,5
(c) carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	74,9 <b>98,0</b>	1,5 <b>2,0</b>	0,6	23,0
<b>LHF 28 (2550°F)</b>				
(a) carbón 80% cubierta 1,25 lb/pies <sup>2</sup>	(88,6)** <b>(98,7)**</b>	(1,2) <b>(1,3)</b>	(2,2)	(8,0)
(b) carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	(93,9)** <b>(98,9)**</b>	(1,0) <b>(1,1)</b>	(2,2)	(2,9)
(c) carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	(83,7)** <b>(98,7)**</b>	(1,1) <b>(1,3)</b>	(1,3)	(13,9)
<b>LHF 29 (2550°F)</b>				
(1a) carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	74,9 <b>98,6</b>	1,1 <b>1,4</b>	1,4	22,6
(2a) carbón 110% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	69,0 <b>95,0</b>	3,6 <b>5,0</b>	8,3	19,1
(1b) carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	77,1 <b>99,5</b>	0,4 <b>0,5</b>	0,8	21,7
(2b) carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	72,4 <b>96,5</b>	2,6 <b>3,5</b>	3,9	21,1

**FIG. 20**

	Pepitas		Escoria			(S)/[S]**
	%C	%S	%Fe	%FeO	%S	
<b>LHF 26* (2600°F)</b>	3,68*	0,030*	0,00	0,23	1,39	46,3
<b>LHF 27 (2600°F)</b>						
(a) Carbón 80% cubierta 1,25 lb/pies <sup>2</sup>	3,81	0,020	0,03	0,27	1,09	54,5
(b) Carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,18	0,025	0,20	0,50	1,03	41,2
(bp) **Carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,33**	0,076**	0,82	1,20	0,82	10,8**
(c) Carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,74	0,030	0,31	0,55	1,04	34,7
<b>LHF 28 (2550°F)</b>						
(c) Carbón 80% cubierta 0,5 lb/pies <sup>2</sup>	2,65	0,034	0,26	0,54	1,13	33,2
<b>LHF 29 (2550°F)</b>						
(1a) Carbón 80% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,28	0,024	0,00	0,21	1,22	50,8
(2a) Carbón 110% cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,48	0,029	0,00	0,23	1,32	45,5
(1b) Carbón 80% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,63	0,020	0,00	0,23	1,21	60,5
(2b) Carbón 110% cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,80	0,016	0,00	0,23	1,31	81,9

FIG. 21

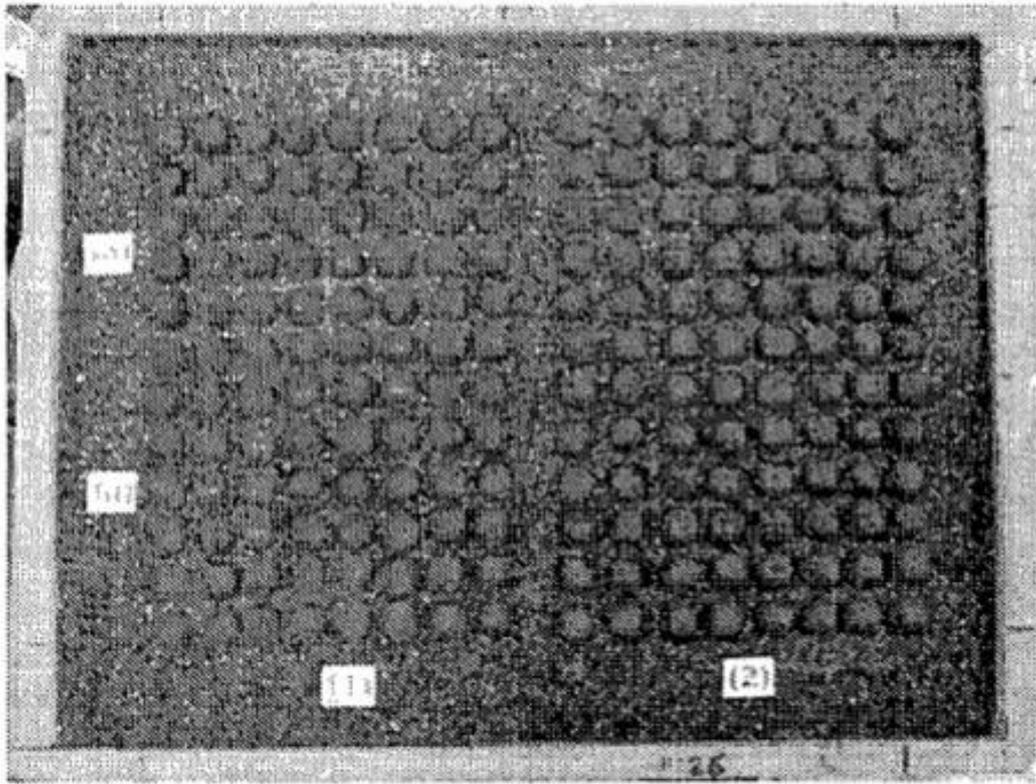
	Pepitas		Escoria			(S)/[S]**
	%C	%S	%Fe	%FeO	%S	
<b>LHF 30 (2550°F)</b>						
(a) Cubierta 1,25 lb/pies <sup>2</sup>	3,05	0,021	0,11	0,32	1,24	59,0
(b) Cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,31	0,029	0,10	0,36	1,24	42,8
(c) Cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,57	0,032	0,00	0,28	1,13	35,3
<b>LHF 31 (2550°F)</b>						
(1a) cubierta malla 4/6 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	2,89	0,027	0,00	0,27	1,16	43,0
(2a) cubierta malla 4/6 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	2,96	0,025*	(0,03)**	(0,22)	(1,21)	(48,4)
(1b) cubierta -1/2+3/8" 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,50	0,024	0,00	0,14	1,33	55,4
(2b) cubierta -1/2+3/8" 1,0 lb/pies <sup>2</sup>	3,25	0,023	0,02	0,21	1,20	52,2
<b>LHF 32 (2550°F)</b>						
(1a) cubierta malla 4/6 0,5 lb/pies <sup>2</sup>	3,11	0,039	0,12	0,40	1,29	33,1
(2a) cubierta malla 4/6 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	2,40	0,029	0,16	0,35	1,20	41,4
(1b) cubierta -1/2+3/8" 0,5 lb/pies <sup>2</sup>			0,00	0,31	1,31	
(2b) cubierta -1/2+3/8" 0,75 lb/pies <sup>2</sup>	3,47	0,026	0,00	0,33	1,17	45,0
<b>LHF 33 (2550°F)</b>						
(1a) Cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup> Briquetas secas	2,70	0,079*	(0,17)	(0,49)	(1,05)	(13,3)
(2a) Cubierta 1,0 lb/pies <sup>2</sup> Briquetas húmedas	3,06	0,054*	(0,06)	(0,32)	(1,10)	(20,4)
(1b) Cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup> Briquetas secas	3,10	0,047*	(0,02)	(0,24)	(1,15)	(24,5)
(2b) Cubierta 0,75 lb/pies <sup>2</sup> Briquetas húmedas	3,07	0,048*	(0,48)	(0,64)	(1,13)	(23,5)

\* Productos de hierro no fundidos completamente

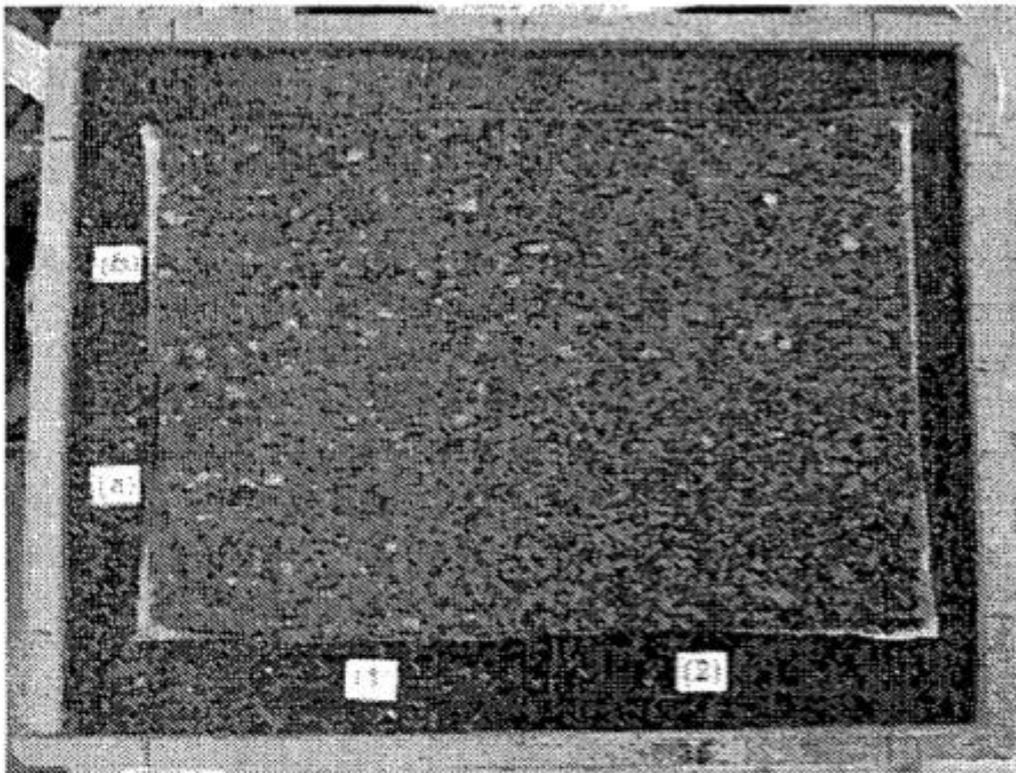
\*\* Números entre paréntesis asociados a productos de hierro no fusionados

\*\*\* %S en escoria dividido por %S en metal

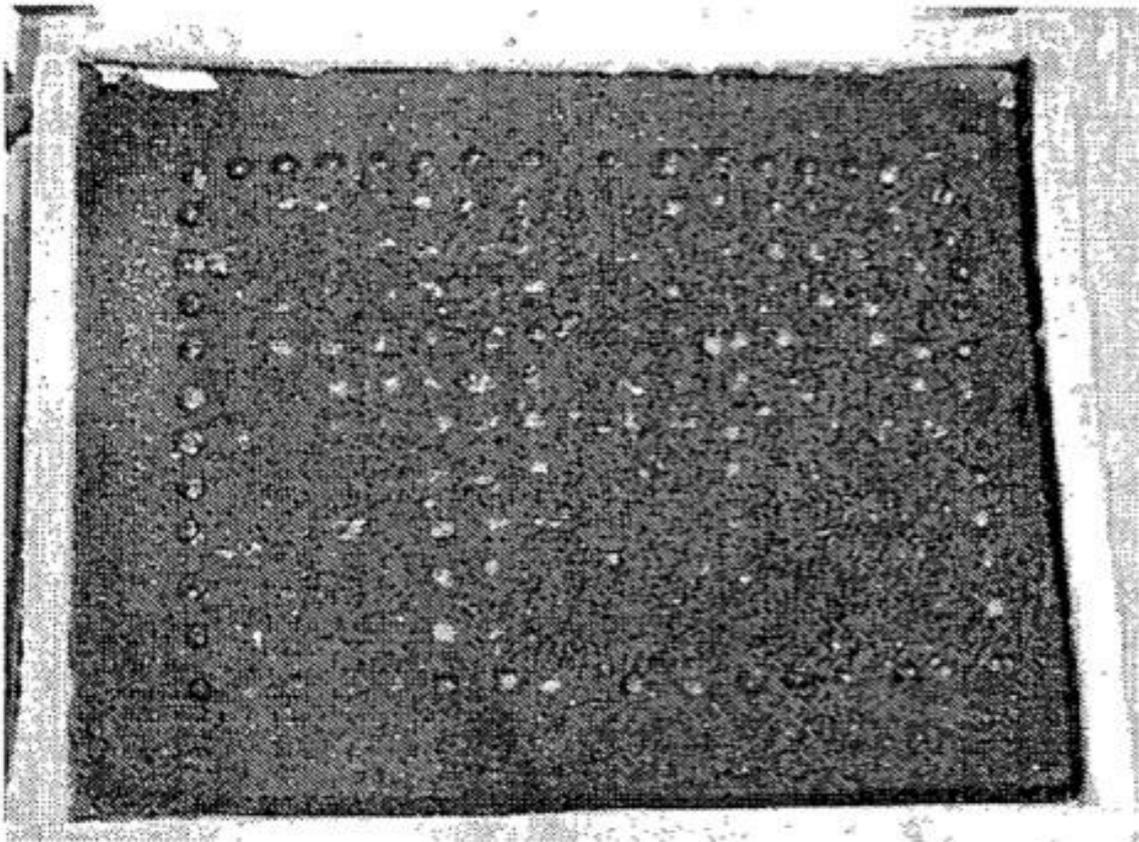
**FIG. 21 (cont.)**



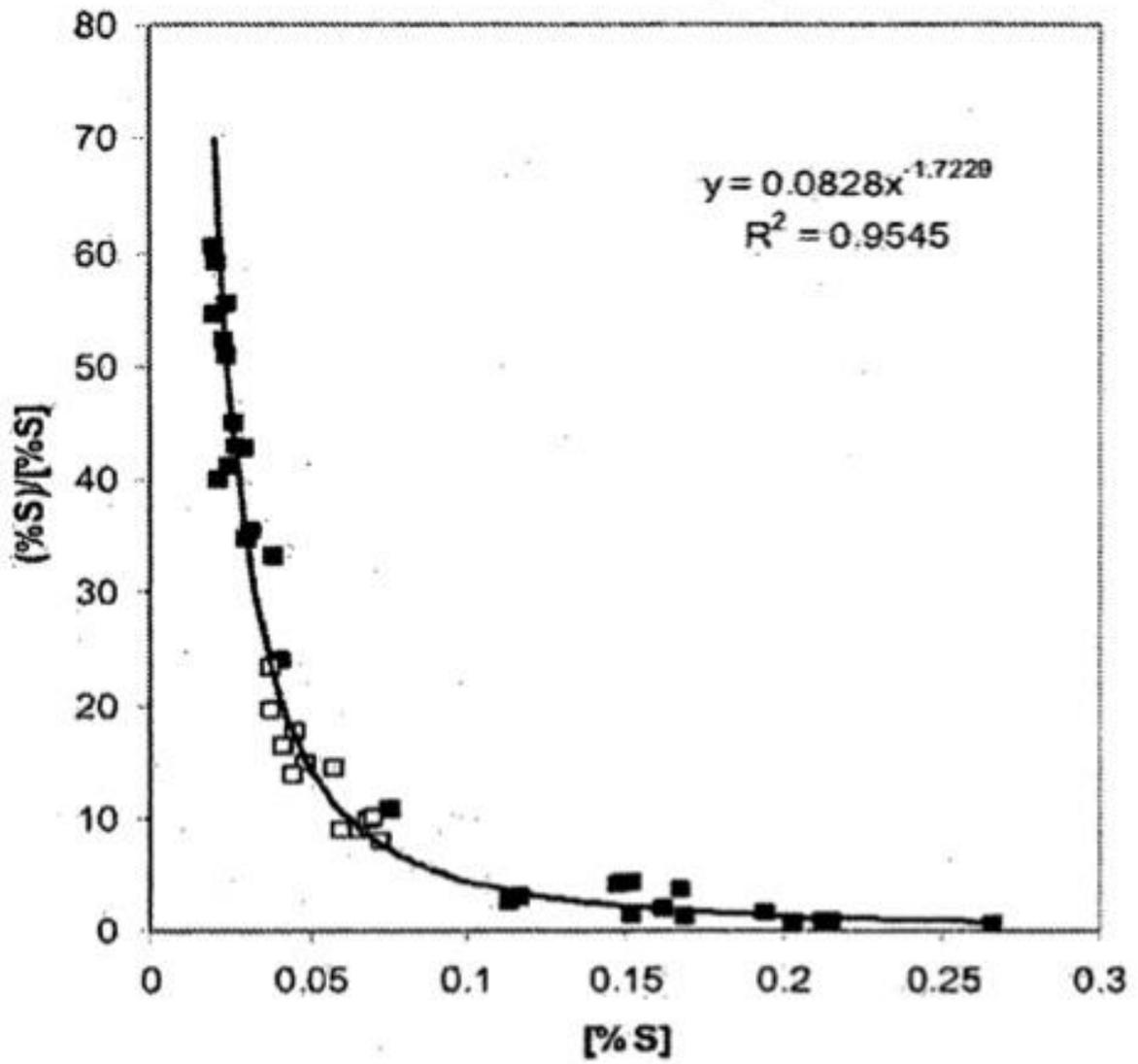
**FIG. 22**



**FIG. 23**



**FIG. 24**



**FIG. 25**

Grosor de la capa de solera	Capa de cubierta en lb/pies <sup>2</sup>	
	0.75	1.0
<u>Capa única</u>		
1/2"	24 min	28 min
1"	28 min	33 min
<u>Capas dobles</u>		
1/2"	31 min	36 min
1"	38 min	42 min
<u>Capas triples</u>		
1/2"	45 min	51 min
1"	51 min	57 min

**FIG. 26**

Capa de solera (pulgadas)	Capa de cubierta (lb/pies <sup>2</sup> )	Productividad (No. de NRI/minuto)		
		Capa única	Capas dobles	Capas triples
1	1	2,9	4,4	4,6
1	0,75	3,4	4,8	5,2
1/2	1	3,4	5,1	5,2
1/2	0,75	4,0	5,9	5,9

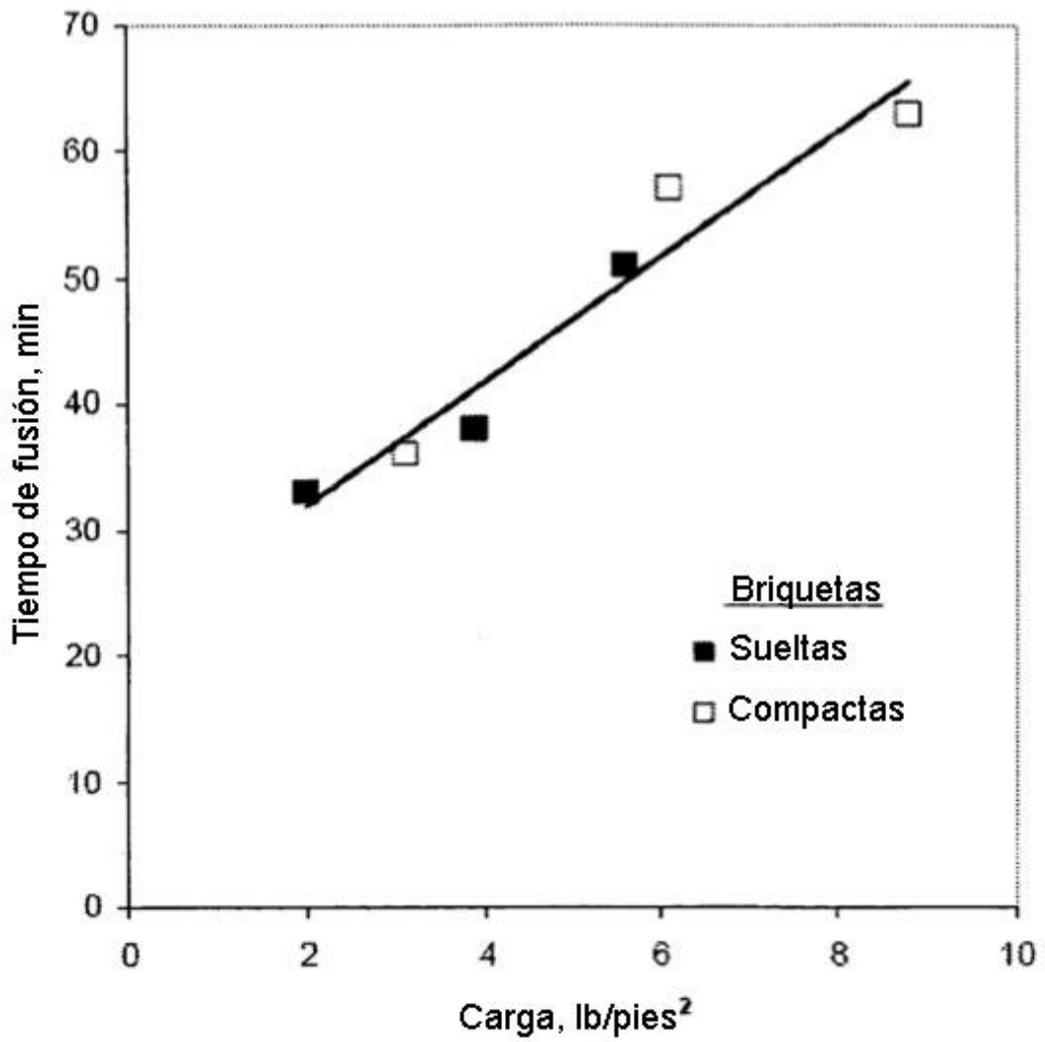
**FIG. 27**

	Capa única	Capa doble	Capa triple
<u>Sueltas</u>			
Carga, lb/pies <sup>2</sup>	2,0	3,9	5,6
Tiempo de fusión, min	33	38	51
<u>Compactas</u>			
Carga, lb/pies <sup>2</sup>	3,1	6,1	8,8
Tiempo de fusión, min	36	57	63

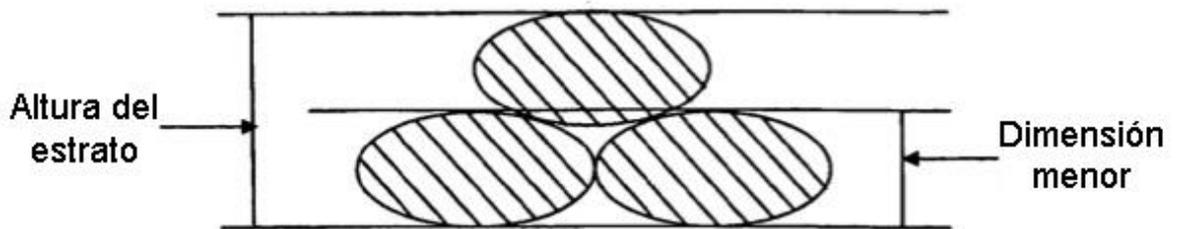
**FIG. 28**

	Tasas de procesamiento de briquetas, lb/pies <sup>2</sup> /h		
	Capa única	Capa doble	Capa triple
Sueltas	3,6	6,2	6,6
Compactas	5,2	6,4	8,4

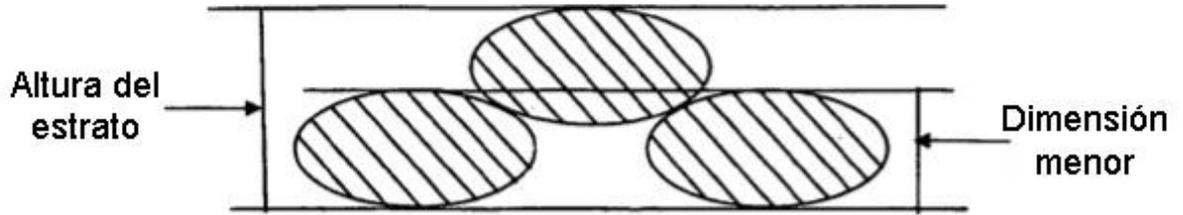
**FIG. 29**



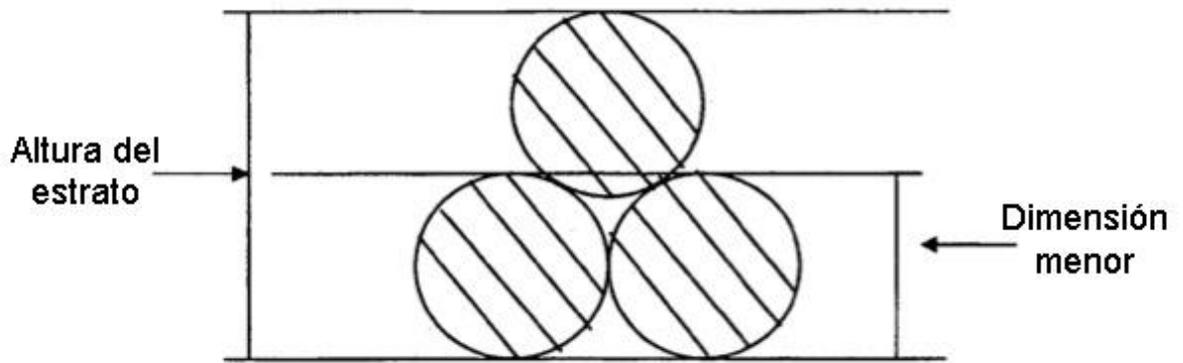
**FIG. 30**



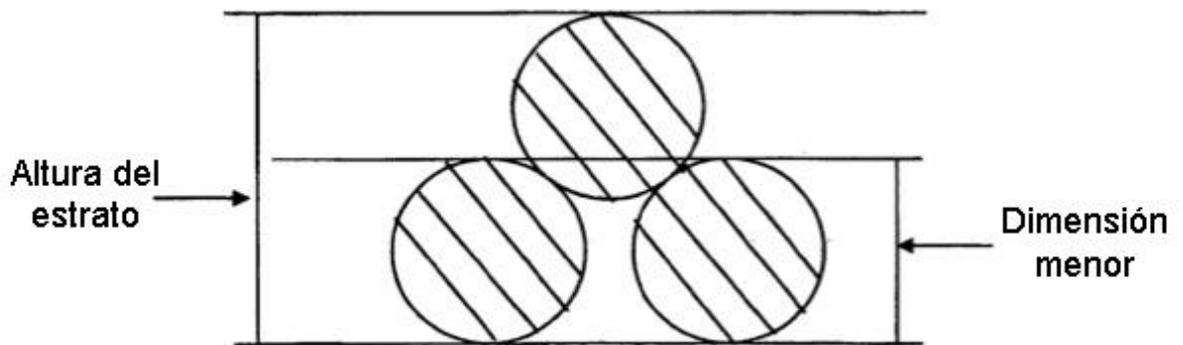
**FIG. 31**



**FIG. 32**



**FIG. 33**



**FIG. 34**

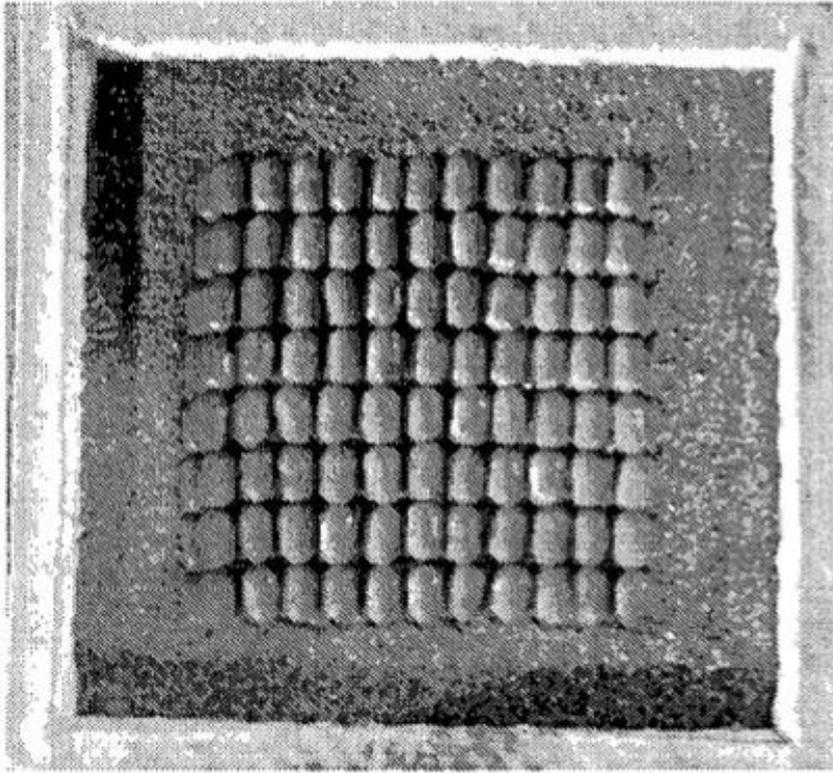


FIG. 35

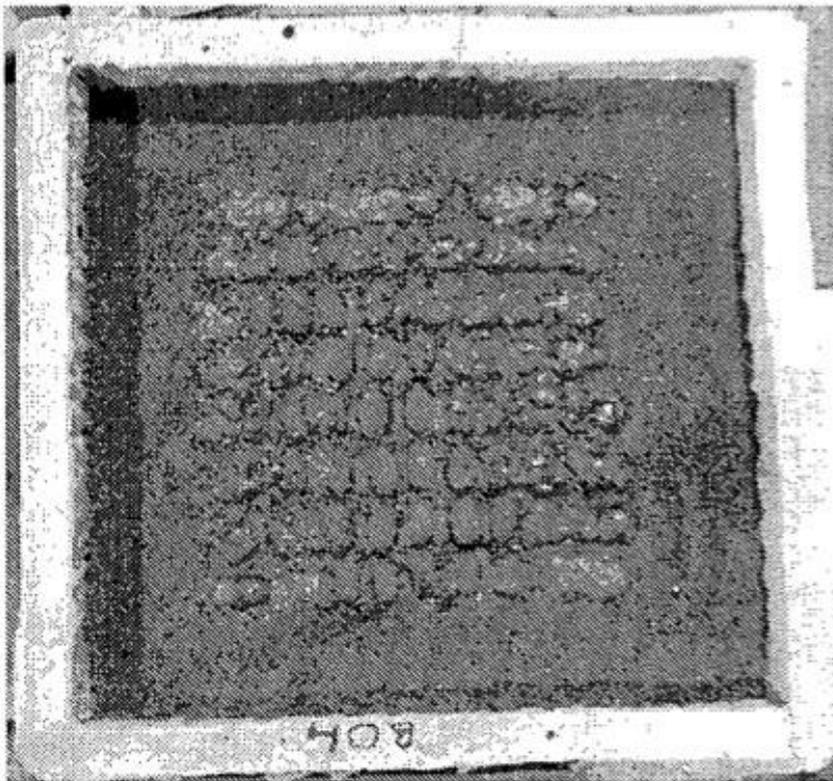


FIG. 36

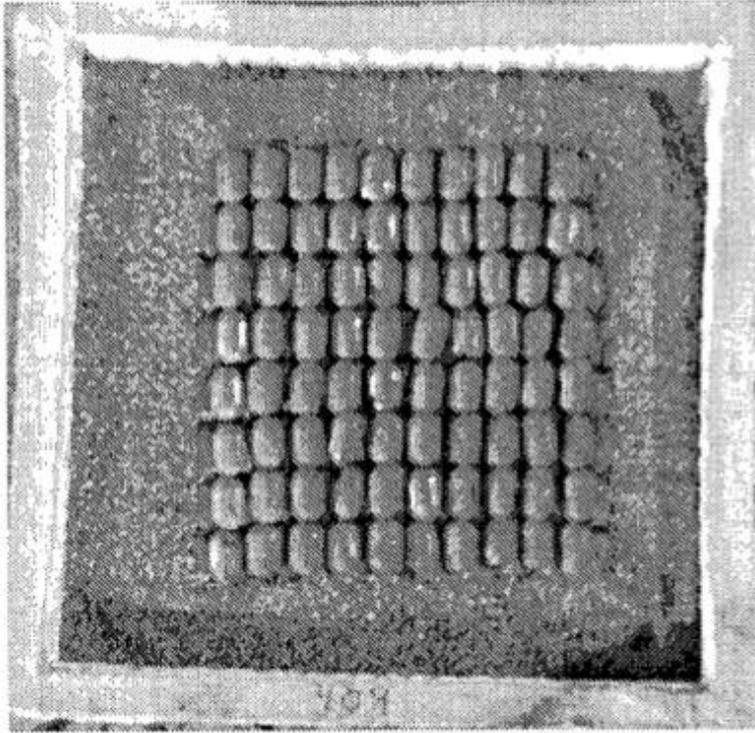


FIG. 37

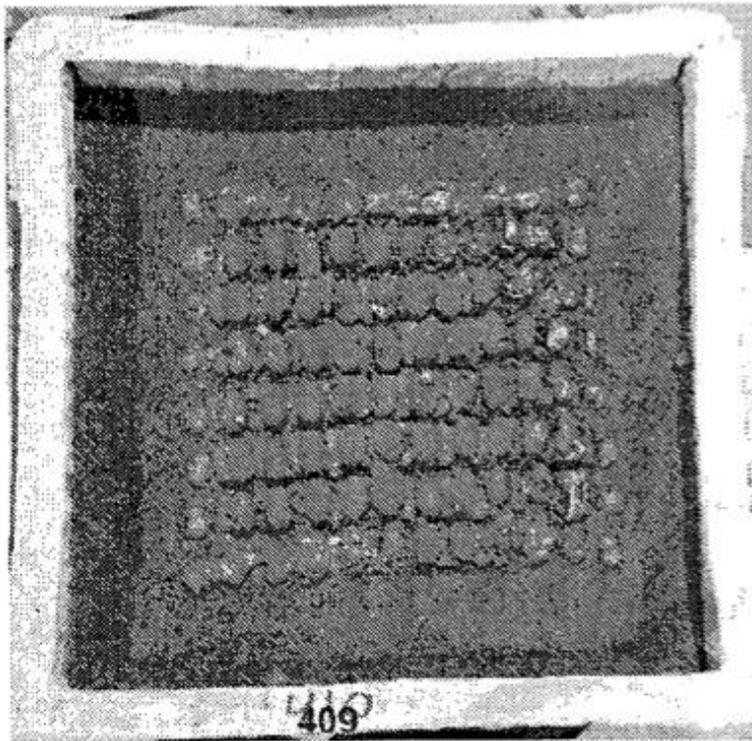


FIG. 38