

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 187**

51 Int. Cl.:

**C21B 5/04** (2006.01)

**C22B 1/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03725954 .6**

96 Fecha de presentación: **12.05.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1504128**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.02.2005**

54 Título: **Procedimiento para mejorar la tasa de producción de hierro en un alto horno**

30 Prioridad:

**10.05.2002 SE 0201453**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

**19.12.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

**19.12.2012**

73 Titular/es:

**LUOSSAVAARA-KIIRUNAVAARA AB (100.0%)  
S-981 86 Kiruna, SE**

72 Inventor/es:

**STERNELAND, JERKER y  
HOOEY, LAWRENCE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 393 187 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 para mejorar la tasa de producción de hierro en un alto horno

La presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar la tasa de producción de hierro en un alto horno de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

5 **Antecedentes de la invención**

En general, la presente invención se refiere a reacciones de afección entre el gas de alto horno y los minerales presentes en el vientre del alto horno, y se refiere a la distribución de los minerales en relación con la formación de escoria fundida. También existen factores relacionados con la supresión del polvo durante la manipulación y el transporte del aglomerado de mineral de hierro.

10 Normalmente, se usan las pellas de óxido de hierro solas o junto con masas de mineral natural o se sinterizan en forma de unidades de hierro en altos hornos. En la región de temperatura elevada del horno, por encima de aproximadamente 1.000 °C, la reducción de óxido de hierro hasta hierro metálico se acelera de forma rápida. Se ha comprobado que, durante esta etapa de reducción rápida, los aglomerados de mineral de hierro pueden agruparse debido a la sinterización de hierro-hierro o a la formación de una escoria superficial de bajo punto de fusión. A medida que aumenta la temperatura, el material formador de escoria de los aglomerados comienza a fundirse y finalmente se produce la exudación a partir de los aglomerados. Las escorias primarias tienden a ser de naturaleza ácida. Estas escorias denominadas primarias contienen FeO residual que posteriormente es reducido por medio de contacto con gas reductor o carbono. El hierro en contacto con el carbono experimenta carburación y se funde. Las escorias formadas en el procedimiento primario reaccionan con otros fundidores de escoria apelmazada con el inconveniente de formación de escorias secundarias, y posteriormente de manera final con ceniza de coque residual para formar la escoria final que es sangrada desde el horno. Se ha comprobado que este procedimiento de fusión - incluyendo la escoria y la fusión del hierro y la carburación - afecta en gran medida a la estabilidad de la zona de fusión y al crisol del horno, y puede afectar al flujo de gas. El mantenimiento de las escorias fluidas durante todo el procedimiento resulta crítico para conseguir una operación estable. Esto resulta especialmente importante para los hornos que operan con volúmenes de escoria muy reducidos, a medida que la basicidad de la escoria secundaria de la capa de mineral se hace más elevada, aumentando el riesgo de que se produzcan diferencias extremas en las temperaturas de fusión entre la escoria primaria y la escoria secundaria. En algunos casos, debido a la reducción endotérmica de FeO y la fusión de hierro, se pueden re-congelar las escorias bloqueando el flujo de gas a través de la capa de mineral y retrasando más la reducción y la fusión. La mejora de la distribución de los fundidores de escoria reduce los extremos en las diferencias de las temperaturas de fusión de la escoria.

A las temperaturas muy elevadas de las toberas y el crisol, parte de los álcalis (potasio y sodio) que entran con el material de carga se reduce y se vaporiza, aumentando con el gas en el vientre. A medida que aumentan los álcalis, en primer lugar reaccionan con los componentes ácidos, con el peligro conocido de captura de álcali. Los álcalis no capturados en los componentes ácidos continúan ascendiendo y son depositados en forma de carbonatos y cianuros. Se sabe que estas deposiciones provocan la formación de pegotes y colgaduras y que también reaccionan con el revestimiento refractario del horno. De igual forma, se ha comprobado que la presencia de un álcali en el gas reductor provoca la degradación del coque y los aglomerados de mineral de hierro, lo que da lugar a problemas de permeabilidad en el lecho fijo. El grado de circulación de álcali y el comportamiento del coque y de la carga ferrosa en presencia de álcali constituyen fuentes constantes de preocupación en las operaciones de alto horno.

40 El fenómeno de la formación de agrupaciones de minerales, pobre formación de escoria y comportamiento de fusión y circulación de álcali dan como resultado un contacto gas-sólido menos eficiente, un descenso de la carga inestable y una calidad inestable del metal caliente, lo que requiere una tasa de combustible más elevada en el alto horno que da lugar a una menor productividad.

45 Existen varios factores mineralógicos cuya influencia es preciso considerar sobre estos comportamientos. La mejora de cualesquiera de los comportamientos siguientes produce una mejora en el procedimiento de alto horno y puede aumentar la productividad y la eficacia del alto horno.

En primer lugar, los materiales ácidos - concretamente los materiales que contienen cantidades sustanciales de sílice o alúmina - reaccionan de forma intensa con álcalis, para unirse a ellas en formas más estables que los carbonatos o los cianuros. Los álcalis que circulan en forma de carbonatos o cianuros se depositan en el vientre bloqueando el flujo de gas, provocando la formación de pegotes sobre las paredes, produciendo la formación de agrupaciones de las capas de minerales y reaccionando con el coque o con los aglomerados provocando degradación. La adición de sílice, en forma de grava, por ejemplo resulta eficaz para ajustar la composición final de escoria sangrada, sin embargo el tamaño de partícula de dicha grava, generalmente introducida a + 6 mm, da como resultado un área superficial bastante reducida para la reacción de gas-sólido. Debido a la baja superficie de los aditivos a granel, no tiene lugar la maximización de la reacción con álcalis.

5 En segundo lugar, cuando los aglomerados comienzan a fundirse, las escorias ácidas son las primeras en fluir desde los aglomerados de mineral de hierro. Las escorias precisan del flujo por medio de los óxidos de ruptura de red, tales como CaO y MgO, que se pueden añadir en forma de sólidos brutos tal como caliza apelmazada, escoria de convertidor, dolomita u olivino, típicamente con tamaños de partícula mucho mayores que 6 mm. Sin embargo, debido a la distribución heterogénea de las partículas que fluyen, pueden estar presentes composiciones de escoria extrema que dan lugar a escorias de elevada viscosidad que bloquean el flujo de gas y provocan la formación potencial de agrupaciones de pellas, o en el peor de los casos, re-congelación de la escoria lo que genera una formación extrema de conductos de gas y colgaduras.

10 En tercer lugar, es posible aliviar la formación de agrupaciones de aglomerados de mineral de hierro, debido bien a la sinterización en estado sólido del hierro o a la escoria superficial de bajo punto de fusión, mediante la aplicación de una capa de mineral de alto punto de fusión en los puntos de contacto entre los aglomerados. Se ha reducido la formación de agrupaciones en el procedimiento DR mediante la aplicación de minerales de alto punto de fusión a la superficie de la pella de DR.

15 Una consideración final que no está relacionada con el comportamiento químico del horno es la pulverización de agua que, típicamente, se usa para minimizar la formación de polvo durante el transporte. Es preciso evitar la humedad en las pellas ya que rebaja las temperaturas de gas de la parte superior del alto horno, provocando que en algunos casos sea necesario más combustible y por tanto se reduzca la productividad del alto horno. La eliminación de polvo también resulta importante en el procedimiento de alto horno ya que es preciso recuperar y depositar el polvo que se escapa con el gas de alto horno. Dichos polvos, comúnmente denominados polvo del tragante, representan por un lado una pérdida de unidades de hierro y por otro, su eliminación y reciclaje resultan costosos. Además, la reducción de la formación de polvo durante el transporte reduce las pérdidas unitarias de hierro y mejora las consideraciones ambientales de la fabricación de hierro en alto horno.

20 El documento de Estados Unidos 4 350 523 divulga que el uso de pellas de mineral de hierro en alto horno reduce las tasas de coque y de combustible y también la frecuencia de variaciones y fluctuaciones en el procedimiento del alto horno. De acuerdo con el documento, se mejora la capacidad de reducción de las pellas (el denominado retardo de la reducción) en la zona de alta temperatura, por medio del aumento de la porosidad y de los diámetros de poro de las pellas individuales. Las pellas se fabrican mediante la adición de un material de combustible a las mismas durante el procedimiento de formación de pellas, antes del cocido de las pellas.

25 El documento RU 173 721 divulga los problemas de la pérdida y ruptura de las pellas en la parte superior de una unidad reductora y los problemas de adherencia de las pellas durante la formación intensiva de hierro metálico en la parte media y en la parte baja del vientre del horno. De acuerdo con las consideraciones del documento, los problemas se reducen mediante la aplicación de un revestimiento de materiales que contiene CaO y/o de MgO a las pellas vírgenes justo antes del cocido. Alterando la basicidad de la capa superficial, se mejoran las propiedades de reducción de las pellas.

30 El documento de Estados Unidos 4963185 divulga un procedimiento para mejorar un procedimiento de alto horno. De acuerdo con el documento, se mezcla un material de flujo, olivino, con el mineral de hierro, magnetita finamente molida o hematita, antes del procedimiento de aglomeración, el procedimiento de formación de pellas, en el cual tiene lugar la formación de las pellas vírgenes. Tras el procedimiento de aglomeración, se cuecen las pellas vírgenes por medio de un procedimiento de cocido. Posteriormente, las pellas obtenidas resultan aptas para ser introducidas en el alto horno. Por medio de mezcla de olivino con el mineral de hierro antes de la formación de pellas y cocido/sinterización, se mejora la resistencia de compresión de la pella virgen y la resistencia de la pella cocida.

35 Aunque la eficacia y la productividad del alto horno hayan mejorado de forma continua por varios medios, todavía es posible mejorar el procedimiento. Por tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento que mejore la eficacia de combustible y la estabilidad, y por tanto la tasa de producción, de tal forma que no produzca alteración alguna sobre la capacidad de reducción de la pella cocida o las propiedades de degradación de reducción. Con el fin de proporcionar dichas mejoras, esto significa reducir la cantidad de formación de conductos de gas, deslizamiento y formación de polvo a través de una mejor formación de escoria y comportamiento de fusión, reducción del grado de formación de agrupaciones de los aglomerados de mineral de hierro y reducción o modificación de la circulación de álcalis en el alto horno.

40 Por consiguiente, de manera sorprendente el desarrollo de las propuestas sugeridas en el presente documento ha mostrado una mejora de la eficacia y de la tasa de producción de los altos hornos.

### **Sumario de la invención**

45 La invención es un procedimiento para mejorar la tasa de producción de hierro en un alto horno en el cual se introducen aglomerados que contienen hierro, que comprende poner en contacto el material que contiene hierro apto para la introducción con una cantidad eficaz de modificación de escoria de una dispersión de un material particulado, teniendo lugar dicho contacto antes del procedimiento del alto horno. El material que contiene el revestimiento de hierro, tal como pellas que resultan aptas para la introducción inmediata en el alto horno, proporciona un número de ventajas en comparación con la aplicación de un revestimiento sobre las pellas vírgenes. Una ventaja de revestir las

pellas cocidas consiste en que las propiedades fundamentales de las pellas no se ven alteradas por medio del procedimiento de revestimiento, pudiéndose usar por tanto el material de revestimiento sin alterar la resistencia o la capacidad de reducción de la pella. Una segunda ventaja de revestir las pellas cocidas consiste en que el material de revestimiento entra en el alto horno mineralógicamente inalterado y con un área superficial mucho mayor para la reacción, favoreciendo de este modo las reacciones gas-sólido deseadas.

El material particulado eficaz para la modificación de escoria se puede seleccionar entre el grupo que consiste en, un material que contiene cal que comprende cal calcinada, caliza, dolomita; un material que contiene magnesio que comprende magnesita, olivino, serpentina y periclasa; un material que contiene aluminio que comprende bauxita, arcillas bauxíticas y caolinitas, arcillas caoliníticas, mulita, corindón, bentonita, silimanitas, arcillas refractarias; o un material que contiene sílice que comprende cuarcita o cualesquiera minerales de sílice; o un material que contiene óxido que comprende óxido de bario; u otro material usado tal como ilmenita, rutilo.

Es preferible llevar a cabo el revestimiento de las pellas de alto horno cocidas antes de la primera manipulación que da lugar a la formación de polvo sensible desde el punto de vista ambiental, tal como la carga en el puerto de carga. También se podría llevar a cabo el revestimiento justo (tras el cocido o en el mismo momento) antes de la introducción en el alto horno.

Una parte de la mezcla de revestimiento puede ser un material de aglutinante, tal como arcilla, o materiales de tipo cemento, que pueden experimentar templado sobre las partículas manteniendo la mezcla de revestimiento en posición sobre la superficie.

Con el fin de reducir la circulación de álcalis en el procedimiento del alto horno o de mejorar el comportamiento de fusión de la escoria de las pellas de mineral de hierro, los presentes inventores han investigado de forma intensa la posibilidad de maximizar las áreas superficiales de mineral reactivo y mejorar la distribución del fundidor de escoria. Esta maximización se logra dispersando un revestimiento de varios minerales sobre la superficie de las pellas cocidas. Se investigaron el control de la generación de polvo durante el transporte, la manipulación y el control de la generación de polvo del tragante, desde el punto de vista de una posible mejora en combinación con la investigación de la maximización del área superficial reactiva con el fin de lograr múltiples beneficios a partir de una invención.

Tras una serie de investigaciones, se demostró la mejora en el procedimiento de alto horno mediante la aplicación de una dispersión que contenía determinados sólidos particulados que, se sabe o se piensa que, tiene un comportamiento específico en el procedimiento de alto horno sobre las pellas de mineral de hierro. Además, se puede optimizar el revestimiento con la dispersión para una eliminación máxima de polvo, minimizando de este modo la humedad necesaria de la pella revestida para el transporte y la manipulación.

El área superficial eficaz de la suspensión es varios órdenes de magnitud mayor que la introducción del mineral de revestimiento en forma de sólido bruto, y por tanto mucho más reactiva. De este modo, los minerales reaccionan con álcalis, denominados en lo sucesivo materiales reactivos con álcalis, pueden capturar la cantidad máxima de álcali en una forma más estable que los carbonatos o los cianuros, que se sabe son responsables de la elevada circulación de álcalis en el vientre del alto horno. La retirada de álcalis del gas usando un mineral dispersado sobre la superficie de la pella limita la reacción de los álcalis con el coque, lo que provoca la degradación del coque o la deposición sobre los materiales refractarios provocando pegotes y daño desde el punto de vista refractario.

Mediante la aplicación de un revestimiento mineral sobre la superficie de la pella, se puede hacer que las escorias primarias que fluyen a partir de las pellas sean más uniformes en la superficie de reacción crítica cuando, de manera general, comienza el exudado de las escorias primarias ácidas. Debe apreciarse que para el material ácido que ha reaccionado con los álcalis, se produciría una mejora en la formación de escoria debido a que los óxidos de potasio y sodio rebajan la viscosidad de las escorias ácidas de manera muy intensa.

Mediante la aplicación de una dispersión que contiene sólidos particulados finos con tamaños de grano controlados y diferente polarización superficial en comparación con los óxidos de hierro, las partículas individuales, que de otro modo terminarían en forma de polvo liberado, se adhieren a la superficie de la pella de manera más eficaz. Esta adherencia fuerte reduce tanto la formación de polvo en el transporte como la producción de polvo a través del gas superior de alto horno.

### **Breve descripción de los dibujos**

A continuación, se explica la invención con más detalle sobre la base de un ejemplo representado por medio de los siguiente dibujos.

La Fig. 1 representa un flujo de gas (índice de resistencia de carga, BRI) y la tasa de disminución de carga durante los ensayos de alto horno experimental con pellas de MPBO sometidas a ensayo con revestimiento de olivino, cuarcita y dolomita.

La Fig. 2 muestra el contenido de óxido de potasio de una escoria en función de la basicidad óptica durante los ensayos de alto horno experimental de pellas de MPB1 con revestimientos de olivino y cuarcita.

La Fig. 3 muestra la relación entre la temperatura del metal caliente y silicio durante los ensayos de horno experimental de pellas de MPB1 sometidas a ensayo con revestimientos de olivino y cuarcita.

La Fig. 4. Formación de escoria rica en  $K_2O$  sobre la superficie de pella de MPBO revestida con caolinita retirada del vientre inferior de un alto horno experimental.

## 5 Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar la producción de hierro en un alto horno en el que se introducen aglomerados que contienen hierro que comprende poner en contacto el material que contiene hierro apto para introducción con una cantidad eficaz de modificación de escoria de una dispersión de un material particulado. Dicho contacto tiene lugar después de la aglomeración de mineral de hierro y antes de la **introducción** en el vientre del **alto horno**.

El material aglomerado apto para introducción de la presente invención puede ser de cualquier forma que resulte típica para el procesado en un alto horno. A modo de ejemplo no limitante, el material apto para introducción pueden ser minerales aglomerados en forma de pellas, briquetas, granulados, etc, u óxido de hierro aglomerado natural típicamente denominado como masa de mineral o mineral de granulometría entre 38 y 50 mm.

Según se usa en el presente documento, "dispersión" significa cualquier mezcla de distribución o mezcla de finos, finamente dividida y/o en material sólido en forma de polvo en medio líquido. El término similar "suspensión" etc también se incluye en el término "dispersión".

Según se usa en el presente documento, se entiende por "material de modificación de escoria" cualesquiera materiales activos en el procedimiento de formación de escoria. El efecto principal del material puede ser capturar álcalis en el gas de alto horno. Según se usa en el presente documento, se entiende que "material reactivo de álcalis" es cualquier material que puede contribuir en el procedimiento de formación de escoria por medio de la mejora de la distribución o composición de fundidores de escoria añadidos. Además, según se usa en la presente memoria, "material eficaz de flujo" significa cualquier material cuyo principal efecto es disminuir la formación de agrupaciones del material que contiene hierro apto para introducción, tras la reducción evitando la sinterización en estado sólido de la formación de escoria superficial de bajo punto de ebullición. Estos materiales también son denominados materiales "eficaces de disminución de agrupaciones".

En una realización, los aglomerados que contienen hierro se encuentran en forma de pellas que comprenden un aglutinante u otros aditivos empleados en la formación de pellas de mineral de hierro. Los aglutinantes típicos y aditivos así como el procedimiento de uso de los aglutinantes y aditivos resultan bien conocidos. A modo de ejemplos no limitantes, dichos aglutinantes y aditivos pueden ser arcillas tales como bentonita, sal de metal alcalino de carboximetilcelulosa (CMC), cloruro de sodio y glucolato de sodio, y otros polisacáridos o polímeros sintéticos solubles en agua.

De manera opcional, la dispersión de la presente invención se puede emplear como sistema estabilizador que contribuye a mantener una dispersión estable y mejorar la adherencia del material particulado sobre aglomerados que contienen hierro apto para reducción y/o permite un contenido de sólidos más elevado de la dispersión. Se puede emplear cualquier sistema estabilizador convencional conocido a este respecto con la condición de que contribuya a la estabilización de la dispersión. Ejemplos de dichos estabilizadores son dispersantes orgánicos tales como poliacrilatos, derivados de poliacrilatos y similares y dispersantes inorgánicos que incluyen sosa cáustica, ceniza, fosfatos y similares. Los estabilizadores preferidos incluyen estabilizadores tanto orgánicos como inorgánicos que incluyen gomas xantán o sus derivados, derivados de celulosa tales como hidroxietil celulosa, carboximetilcelulosa y modificadores de viscosidad sintéticos tales como poliacrilamidas y similares.

Según se usa en el presente documento, "material particulado" es un material parecido a un polvo finamente dividido capaz de formar una dispersión en un medio líquido tal como agua.

Se pueden utilizar cualesquiera agentes de flujo o aditivos empleados convencionalmente en la fabricación de hierro y acero en la dispersión de la presente invención. Se prefieren materiales que contienen cal o que contienen magnesio y un número de ejemplos no limitantes es cal calcinada, magnesita, dolomita, olivino, serpentina, caliza e ilmenita.

Se pueden utilizar cualesquiera minerales reactivos con álcalis en la dispersión de la presente invención. Ejemplos no limitantes típicos son cuarcita, bauxita o arcilla bauxíticas, caolinita o arcilla caolíníticas, mulita.

El tamaño de partículas de la dispersión viene determinado por medio del tipo de material particulado y su capacidad para formar una dispersión en un medio tal como agua. En general, el tamaño medio del material particulado se encuentra dentro del intervalo de  $0,05 \mu\text{m}$  a aproximadamente  $500 \mu\text{m}$ .

A la hora de llevar a cabo el procedimiento de la invención, se puede usar una variedad de técnicas para poner en contacto los aglomerados que contienen el hierro apto para introducción con el material particulado. Preferentemente, los procedimientos empleados implican formar una dispersión que se pone en contacto con el

material aglomerado.

5 Se sometió a ensayo la invención en cuanto a los efectos en el procedimiento de alto horno en una serie de experimentos tanto a escala de laboratorio como a escala piloto. Se sometieron a ensayo dos tipos de pellas de mineral de hierro con varios revestimientos: pellas de MPBO (pellas de olivino LKAB estándar) y MPB1 (pellas experimentales LKAB). Se verificó la eliminación de polvo mejorada durante el transporte y la manipulación en un ensayo a escala completa con las pellas de MPBO revestidas.

En la primera serie de ensayos, se evaluaron las pellas MPBO estándar. La Tabla 1 muestra los análisis químicos de las pellas. MPBO-2 y MPBO-3 son tipos similares de pellas, en los que hay pellas de olivino además de olivino y una pequeña cantidad de caliza, y en el de pellas de MPBO-3 también se añadió una pequeña cantidad de cuarcita.

10 Se usó la pella de MPBO-3 como pella de base para los experimentos de revestimiento, mientras que se usaron tanto MPBO-2 como MPBO-3 como materiales de referencia en el alto horno experimental. Se revistieron las pellas con diferentes tipos de materiales de revestimiento en los que se usaron tres tipos de materiales de revestimiento en la presente investigación: olivino, cuarcita y dolomita. Se mezclaron todos ellos con 9% de bentonita como fase de unión. La Tabla 1 también muestra los análisis químicos de los materiales de revestimiento, mientras que la Tabla 2 muestra las distribuciones de tamaño de los materiales de revestimiento, como fracciones en los diferentes intervalos de tamaño. Todos los materiales usados fueron de tamaño muy similar, siendo la parte mayoritaria < 45  $\mu\text{m}$  (65-70%) y únicamente pequeñas cantidades < 0,125 mm (1-6%).

20 Durante el procedimiento de revestimiento, se retiraron las pellas del recipiente de pellas sobre una cinta transportadora. En el punto de transferencia hasta una segunda cinta transportadora, se pulverizó la suspensión de revestimiento pre-mezclada a través de dos boquillas sobre la corriente de las pellas. La suspensión de revestimiento constituyó el agente de revestimiento mezclado con bentonita como se ha descrito anteriormente, y se añadió agua para alcanzar un contenido de sólidos de 25%. Se ajustaron los flujos de suspensión de revestimiento y las pellas para aplicar una cantidad de 4 kg de materiales de revestimiento sólido por cada tonelada de producto de pella.

25 La Tabla 3 muestra los análisis químicos de las pellas de base y de las pellas revestidas, en la cual también se proporcionan los análisis químicos de las pellas tomadas como muestra en el punto del alto horno. Se comprobó que los materiales de revestimiento permanecían sobre las superficies de las pellas tras el almacenamiento, transporte, manipulación y selección (se descartaron los tamaños < 6 mm antes de la introducción en el alto horno).

30 Con el fin de investigar el comportamiento de las pellas revestidas a escala de laboratorio, se empleó una reducción bajo ensayo de carga comúnmente usada para alto horno, el ensayo ISO 7992. Se complementó el ensayo ISO 7992 con un ensayo de caída para medir la adherencia tras la reducción.

35 En el ensayo ISO 7992, se redujeron térmicamente 1200 g de pellas a 1050 °C hasta un 80% de grado de reducción, con una carga de 500 g/m<sup>2</sup> sobre el lecho de muestra durante la reducción en una atmósfera de 2% de H<sub>2</sub>, 40% de CO y 58% de N<sub>2</sub>. Desde el punto de vista de simular las condiciones del vientre del alto horno, el ensayo ISO 7992 con procedimiento de caída de adición es un ensayo de adherencia apropiado para las pellas de alto horno. La temperatura de ensayo de 1050 °C resulta apropiada debido a que es aproximadamente la temperatura del extremo inferior de la zona de reserva en la que las pellas comienzan a estar expuestas a un gas reductor más intenso y la reducción a hierro metálico comienza a experimentar aceleración. También se puede formar una pequeña cantidad de escoria fundida. Posteriormente, se enfría la muestra en nitrógeno y se trata la parte de la muestra sometida a formación de agrupaciones en un ensayo de caída de 1,0 metro, durante 20 caídas. El resultado del ensayo es un valor de índice de adherencia que describe la tendencia de adherencia, SI desde 0 (partículas sin aglomerar antes de comenzar el ensayo de caída) hasta 100 (todas las partículas aglomeradas incluso después de 20 caídas). La Tabla 4 muestra los resultados del presente ensayo. De manera clara, la dolomita y el olivino están afectando a la medición de la adherencia. No obstante, la cuarcita no presenta efecto que se pueda medir en el ensayo de adherencia de laboratorio. Debe apreciarse que la mineralogía del material de revestimiento puede cambiar de forma drástica debido a las reacciones en el interior del alto horno, y el índice de adherencia indica principalmente que existe un efecto sobre la superficie y que el material permanece sobre la superficie. Los resultados de la reducción de laboratorio y de los ensayos de adherencia no necesariamente están correlacionados para explicar el efecto que presentan sobre la operación del alto horno.

40 La Tabla 5 muestra los resultados de los ensayos mecánicos y metalúrgicos. La mayoría de los parámetros relacionados con la calidad de las pellas se encuentran afectadas de manera marginal, o no se encuentran afectados, por el uso del revestimiento. Se obtiene una reducción de la Resistencia de Compresión en Frío (CCS), de 13 a 29 daN/pella de 6 a 12%, y en el valor de Desintegración a Baja Temperatura (LTD), hasta 18 unidades porcentuales en la fracción de < 6,3 mm. Actualmente, estos cambios están provocados por efectos bien conocidos de adición de agua a las pellas de mineral de hierro, no provocados por los materiales de revestimiento.

55 En la primera serie de ensayos a escala piloto, se introdujeron las pellas de MPBO revestidas descritas anteriormente en el alto horno experimental de LKAB de 1,2 de diámetro de crisol.

Se dividió el ensayo en cinco períodos diferentes:

	MPBO-2	Período de referencia usando pellas sin revestimiento
	MPBO-O	Pellas MPBO-3 revestidas con olivino
	MPBO-D	Pellas de MPBO-3 revestidas con dolomita
	MPBO-Q	Pellas de MPBO-3 revestidas con cuarcita
5	MPBO-3	Período de referencia usando pellas sin revestimiento

Se operaron tipos de pellas MPBO-2 y MPBO-3 en SSAB Tunnpplat (Luleá) y SSAB Oxelösund en Suecia, y en Fundia Koverhar en Finlandia, sin mostrar diferencia significativa alguna en la operación del alto horno.

10 La Tabla 6 muestra los contenidos de humedad de las pellas y las cantidades de fundidores de escoria apelmazada introducidos en el alto horno para cada uno de los períodos de ensayo. Las pellas de MPBO-2 fueron secas (menos de 0,1% de humedad), mientras que las pellas MPBO-3 presentaron un contenido de humedad de 2,2%. La cantidad de humedad añadida a las pellas durante el procedimiento de revestimiento correspondió a aproximadamente 1,5%, y la exposición a la precipitación dio como resultado un aumento de la humedad de la pella en alrededor de 0,6 a 0,8%.

15 Se mantuvo la cantidad de caliza introducida en la carga en un nivel casi constante en todos los períodos. Con el fin de mantener la basicidad de escoria deseada y el volumen, se ajustaron la cantidad de adición de escoria de BOF y de adición de cuarcita apelmazada con el fin de compensar la diferente química de los diferentes materiales de revestimiento usados.

20 El objetivo principal del presente ensayo consistió en mantener una operación estable y establecer el efecto sobre la generación de polvo del tragante, en lugar de minimizar la tasa de combustible y de maximizar la productividad del horno. La Tabla 7 muestra las condiciones del alto horno. Los indicadores primarios de la estabilidad del procedimiento son la estabilidad en la disminución de carga y la estabilidad en el índice de resistencia de carga (BRI), calculada de acuerdo con la ecuación 1.

**Ecuación 1.  $BRI = ([presión\ del\ viento]^2 - [presión\ superior]^2) / ([volumen\ de\ gas\ de\ etalaje]^{1,7} \times constante)$**

25 En la primera serie de ensayos, la tasa de disminución mostró una clara mejora únicamente en el caso de las pellas de MPBO revestidas con olivino y la resistencia al flujo de gas fue marcadamente estable cuando se usaron pellas revestidas con cuarcita, Fig. 1. La mejora en la tasa de disminución con revestimiento de olivino se puede atribuir al reducido efecto de formación de agrupaciones. La resistencia al flujo de gas se encuentra relacionada de manera principal con el comportamiento de fusión de las pellas. Debido a las fluctuaciones en el sistema de inyección de carbón su uso con fines de comparación no resulta concluyente. No obstante, en el caso de las pellas de MPBO  
30 revestidas con cuarcita la estabilidad es extremadamente buena, e incluso durante la recuperación a partir del enfriamiento del crisol en el período de MPBO revestido con dolomita, la resistencia al flujo de gas permaneció estable. La conclusión general fue que la operación con las pellas revestidas fue más estable que con las pellas no revestidas de referencia.

35 El volumen de polvo transportado por el gas superior y recogido como polvo del tragante disminuyó de forma marcada para las pellas revestidas en comparación con las pellas no revestidas. La Tabla 8 muestra las cantidades de polvo del tragante recogidas y su composición. La Tabla 2 muestra una distribución de tamaño media del polvo del tragante recogido. Se puede observar que el polvo del tragante fue considerablemente más grueso que los materiales usados para el revestimiento en el presente ensayo. La parte más fina del polvo del tragante pasa a través del ciclón de captura de polvo y es recogida por un precipitador electrostático húmedo posterior, en forma de lodo. La Tabla 9 muestra la composición del lodo de alto horno en los diferentes períodos.

40 Se observó una disminución importante en el polvo del tragante del alto horno recogido en el ciclón de captura de polvo seco durante los ensayos con pellas revestidas, que se muestra en la Tabla 7. Los volúmenes de polvo del tragante fueron marcadamente menores para los tres períodos con las pellas revestidas en comparación con las pellas no revestidas. Los balances de masa basados en los análisis químicos del polvo del tragante de la Tabla 7  
45 muestran que el material de pella, en forma de polvo del tragante que abandona el horno, disminuyó en aproximadamente dos tercios. Estas observaciones fueron confirmadas por el hecho de que en la parte húmeda del polvo del tragante, es decir el lodo, el contenido de hierro también disminuyó cuando se usaron pellas revestidas, como se puede observar en la Tabla 8.

50 También debe hacer notar que las cantidades de partículas finas formadas por medio de los finos de coque así como también de los fundidores de escoria apelmazada introducidos fueron para los períodos con pellas revestidas y con la pella de MPBO-3 húmeda menores que para el período con el pellas de MPBO-3 seco. Se piensa que la causa es el efecto de la adherencia de polvo a la superficie de las pellas húmedas, revestidas o húmedas.

Se espera que el uso de un material de revestimiento ácido (bien sea cuarcita o, en menor medida, olivino) debería proporcionar una retirada de álcali mejor por medio de la escoria durante la operación del alto horno. Se esperaba

- esto debido al área superficial muy elevada del material de revestimiento disponible para la reacción. No obstante, el presente efecto esperado no se verificó durante las primeras series de ensayos con pella de MPBO. A partir de las muestras de sonda del alto horno experimental, ya se sabía que el pellas de MPBO presenta una buena capacidad de captación de álcali, y la producción se puede ver afectada únicamente por la composición de la escoria final de alto horno. No obstante, cabía esperar que la circulación interna de álcalis se viera alterada por el revestimiento de cuarcita, formándose escorias de silicato con un elevado contenido de álcalis sobre la superficie de la pella y esto viene reflejado en una estabilidad mejorada de la resistencia al flujo de gas.
- En la segunda serie de ensayos, se evaluó el comportamiento del alto horno experimental con pellas experimentales revestidas, denominadas pellas MPB1, cuyas composiciones se proporcionan en la Tabla 10. Se estudió con detalle la producción de álcalis. Se consideró que la absorción de álcalis en el interior de este tipo de pella fue más pobre que la del tipo de pella de MPBO, debido a la mineralogía de la escoria formada en la pella durante la cocción. Las pellas de MPBO contienen cierto olivino que no ha reaccionado y fases piroxénicas que reaccionan con álcalis. En las pellas de MPB1, el fundidor de escoria de la pella es escoria mayoritariamente amorfa que, según se observó, resultaba no reactiva con álcalis.
- Se revistieron las pellas de MPB1 usando una dispersión basada en agua para dar lugar a 3,6 kg de cuarcita y 0,4 kg de bentonita; y 3,6 kg de olivino más 0,4 kg de bentonita por cada tonelada de pella respectivamente. Se revistieron las pellas de MPB1 con agua sin partículas algunas como referencia. El procedimiento de revestimiento fue esencialmente el mismo que para los ensayos con MPBO descritos previamente. Una vez más la estabilidad fue el objetivo de la operación, más que la tasa de combustible y la optimización de la productividad.
- La Figura 2 muestra la producción de álcalis vía escoria demostrando claramente una retirada mejorada de álcalis a través de escoria con pellas MPB1 revestidas con olivino o cuarcita, en comparación con las pellas de MPB1 de referencia. A pesar de esto, ambos tipos de revestimiento mostraron una producción mejorada de álcalis para una basicidad óptica de escoria dada. La disminución de carga también resultó más suave usando las pellas revestidas como se muestra en la Tabla 11. El índice de resistencia de carga permaneció inalterado, aumentando ligeramente la desviación para la pella revestida con cuarcita, pero esto debe interpretarse junto con el contenido de silicio metálico caliente bastante elevado, debido a que el horno se encontraba bajo condiciones de sobreaprovisionamiento de combustible. Con una tasa de combustible ligeramente recortada durante el período de pella revestida con olivino, la resistencia al flujo de gas fue menor y más estable que para el período de referencia.
- Además, el uso de pellas de MPB1 revestidas mejoró la temperatura de metal caliente como función del contenido de silicio metálico caliente. La Figura 3 muestra los resultados para pellas de MPB1 revestidas con cuarcita y olivino. La operación a un contenido de silicio metálico caliente más bajo que mantiene la temperatura del metal caliente presenta las ventajas en el procedimiento del alto horno de permitir una tasa de coque menor y por tanto una tasa de producción elevada, así como también la minimización de las pérdidas de hierro hacia la escoria de convertidor, mejorando de este modo el rendimiento total de hierro en el procedimiento de fabricación de acero. Tanto la reducción de la formación de agrupaciones como la circulación de álcali son factores que afectan a la relación de temperatura y Si metálico caliente. Una menor dispersión de silicio y temperatura para las pellas de MPB1 revestidas indica una zona de fusión más estable y contacto de tipo gas-sólido en la parte inferior del horno. Una intensa formación de agrupaciones puede dar lugar a material agrupado no fundido que desciende al interior del crisol, reduciendo la temperatura del hierro fundido. En segundo lugar, la circulación de álcalis actúa como bomba de calor por medio de la reducción en la región de alta temperatura y de la oxidación y la solidificación a bajas temperaturas en el vientre, retirando de este modo el calor disponible para el metal en la zona de temperatura elevada. De igual forma, la deposición de álcalis en el vientre produce polvos, por ejemplo carbonatos, que se recirculan fácilmente y se pueden depositar mucho en el vientre, lo que se sabe que provoca colgaduras e pegotes.
- En la tercera series de ensayos, se revistieron pellas de MPBO usando un sistema de dispersión similar para dar 3,6 kg de caolinita y 0,4 kg de bentonita por cada tonelada de pellas. La Tabla 12 muestra la composición de MPBO de referencia pulverizado con agua en la misma cantidad que las pellas revestidas, y la composición de las pellas revestidas. En la carga se incluyó 20% de otra pella usada junto con 80% de pellas de MBPO en un alto horno comercial. Se mantuvo la estructura de carga constante con 80% de pellas de MPBO (revestidas o no revestidas) y 20% de otros pellas.
- En los períodos de ensayo con pellas de MPBO revestidas con caolinita y pellas de MPBO de referencia, se recortó la tasa de combustible de manera agresiva durante los períodos de ensayo con el fin de optimizar la tasa de combustible. Se operó el horno con inyección de aceite que proporciona datos de operación más estables y fiables que la inyección de carbón. La tasa de inyección de carbón y los comportamientos de cocción no son tan estables como los sistemas de inyección o la cocción de aceite, a los valores de las tasas usados en los presentes ensayos.
- Los resultados clave de la operación del alto horno experimental se muestran en la Tabla 13. Las pellas revestidas de caolinita dieron lugar a una disminución de carga más suave mostrada en forma de una menor desviación estándar en la tasa de disminución y la completa ausencia de fluctuaciones; tasa de combustibles menor en 4 kg/tm; aumento en la tasa de producción; y volumen de polvo del tragante disminuido de forma muy considerable. Estos resultados apoyan la interpretación de resultados de ensayo anteriores y muestran una disminución en la tasa de combustible, un aumento de la productividad y una estabilidad de horno mejorada.

El examen de las muestras retiradas por medio de sondas en el interior de la carga a partir de la región inferior del vientre del horno muestra una reacción importante entre el revestimiento de caolinita y potasio, como cabía predecir. La Figura 4 muestra un ejemplo de formación aluminosilicato de potasio a partir del revestimiento de caolinita. Se identificó la calsilita por medio de difracción de rayos-x como un producto de reacción importante del revestimiento de caolinita con el gas de alto horno.

El polvo de las pellas de mineral de hierro constituye un problema ambiental durante el transporte y la manipulación. Los ensayos de transporte a escala completa se llevaron a cabo sobre pellas de MPBO revestidas con caolinita a 4 kg de caolinita por cada tonelada por medio de pulverización con una dispersión de agua que contenía aproximadamente 25% de sólidos y no contenía bentonita u otro aglutinante usado. Se comprobó que la eliminación de polvo durante la manipulación y el transporte durante la carga, descarga y transporte por medio de cinta transportadora era significativamente mejor que el agua sola.

Debe considerarse la eficacia de los materiales de revestimiento escogidos junto con la mineralogía del pellas objeto de revestimiento. Un revestimiento eficaz del tipo de pella puede resultar ineficaz sobre otro tipo de pella. Las condiciones en el horno, especialmente las relacionadas con la sensibilidad de operación con respecto a la circulación de álcalis, resultan importantes a la hora de escoger el revestimiento. Se requiere el entendimiento de las reacciones químicas entre el gas y los minerales, y de los factores cruciales en el procedimiento de formación de escoria con el fin de escoger el revestimiento óptimo para un tipo de pellas específico.

Tabla 1. Análisis químico de las pellas de óxido y materiales de revestimiento (peso en porcentaje)

Material	MPBO-2	MPBO-3	Olivino	Cuarcita	Dolomita	Bentonita
Fe (%)	66,6	66,6	5,0	0,3	1,0	3,8
SiO <sub>2</sub> (%)	1,78	2,00	42,20	98,00	2,00	56,30
CaO (%)	0,32	0,22	0,80	0,02	29,50	2,83
MgO (%)	1,48	1,42	49,50	0,09	21,00	3,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,29	0,29	0,44	1,00	0,37	18,60
TiO <sub>2</sub> (%)	0,39	0,37	0,03	0,03	0,00	0,83
MnO (%)	0,06	0,05	0,00	0,01	0,10	0,06
K <sub>2</sub> O (%)	0,02	0,02	0,02	0,29	0,09	0,57
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,26	0,25	0,02	0,01	0,00	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,017	0,017	0,030	0,011	0,050	0,160

Tabla 2. Distribución de tamaño de los materiales usados como materiales de revestimiento, y del polvo del tragante a partir del alto horno experimental

Intervalos de tamaño (mm)	< 0,045	0,045-0,063	0,063-0,075	0,075-0,125	0,125-0,250	0,250-0,500	0,500-1	> 1
Olivino (%)	68	11	5	13	2	1	0	0
Intervalos de tamaño (mm)	< 0,045	0,045-0,063	0,063-0,075	0,075-0,125	0,125-0,250	0,250-0,500	0,500-1	> 1
Dolomita (%)	67	13	7	11	1	1	0	0

ES 2 393 187 T3

Cuarcita (%)	70	9	4	10	6	1	0	0
Bentonita (%)	65	21	10	3	1	0	0	0
Polvo del tragante (%)	9	11	8	24	35	12	1	0

Tabla 3. Composiciones de pellas antes y después del revestimiento (porcentaje en peso). Los resultados muestran

a) un análisis químico antes del revestimiento, b) análisis esperado tras el revestimiento (calculado), c) análisis químico de las pellas tras el revestimiento y d) análisis químico de las muestras tomadas en el punto del alto horno, es decir, tras el almacenamiento (fuera de 4 a 6 semanas), transporte, manipulación y clasificación por tamaños (+ 6mm).

5

Material	Muestra	Revestimiento	SiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Fe (%)
MPBO-3	a) Material de base	Ninguno	2,00	1,42	0,22	66,60
MPBO-O	b) Teórica	Olivino	2,16	1,60	0,22	66,33
MPBO-O	c) En la planta de pellas	Olivino	2,16	1,65	0,26	66,39
MPBO-O	d) en el punto d BF	Olivino	2,15	1,64	0,20	66,44
MPBO-Q	b) Teórica	Cuarcita	2,37	1,42	0,22	66,33
MPBO-Q	c) En la planta de pellas	Cuarcita	2,42	1,40	0,20	66,24
MPBO-Q	d) en el punto d BF	Cuarcita	2,50	1,44	0,19	66,24
MPBO-D	b) Teórica	Dolomita	2,01	1,50	0,31	66,33
MPBO-D	c) En la planta de pellas	Dolomita	2,01	1,50	0,38	66,49
MPBO-D	d) en el punto de BF	Dolomita	1,98	1,50	0,29	66,55

Tabla 4- Índice de adherencia de las pellas revestidas y no revestidas tras los ensayos de reducción bajo carga de ISO 7992 y procedimiento de caída (mediad de dos ensayos)

10

Propiedades medidas	MPBO-3	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q
Índice de adherencia, SI	95	47	35	95
Tiempo de reducción (min)	73	75	75	83

Tabla 5. Resultados de los ensayos mecánicos y metalúrgicos de pellas de óxido y pellas revestidas

	Estándar ISO	MPBO-3	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q
Resistencia de compresión en frío (daN/pella)	ISO 4700	232	203	215	219
Resistencia de caída (% + 6,3 mm)	Modificado	95,0	95,2	95,0	94,6
Abrasión (% - 0,5 mm)	ISO 3271 <sup>1)</sup>	4,5	4,4	4,4	4,8
	Estándar ISO	MPBO-3	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q

## ES 2 393 187 T3

Desintegración a baja temperatura (% + 6,3 mm)	ISO 13930	67,7	49,6	67,3	56,6
(% - 0,5 mm)		9,5	12,2	11,5	11,0
Capacidad de reducción, R40 (% O/min)	ISO 4695	0,52	0,53	0,56	0,54
ITH (% + 6,3 mm) <sup>2)</sup>		71,8	74,8	68,4	74,1
Caída de presión, Dp (mm H <sub>2</sub> O)	ISO 7992	12,9	9,7	12,2	11,2
Contracción del lecho (%)		6,0	3,6	6,2	6,3

<sup>1)</sup> 3 kg de muestra (menos que ISO 3271, en el que se someten a ensayo muestras de 15 kg)

<sup>2)</sup> Resistencia tras reducción (el material reducido de ISO 4695 se trata mecánicamente y se tamiza)

Tabla 6. Contenidos de humedad de las pellas y cantidades de fundidores de escoria en los ensayos de alto horno experimental

Período	MPBO-2	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q	MPBO-3
Humedad de pella (%)	0,1	2,1	2,2	2,3	2,2
Caliza (kg/tHM)	48	48	49	49	49
Escoria-BOF (kg/tHM)	45	41	42	48	48
Cuarcita (kg/tHM)	17	15	17	11	17
Tasa de coque (kg/tHM)	408	410	414	421	430

5

Tabla 7. Parámetros de operación de alto horno durante los ensayos

Período	MPBO-2	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q	MPBO-3
Duración (h)	85	83	48	68	27
Temperatura de viento (°C)	1198	1197	1198	1197	1197
Volumen de viento (Nm <sup>3</sup> /h)	1590	1589	1591	1590	1570
Inyección de carbón, PCI (kg/tHM)	133	131	123	127	122
Enriquecimiento de oxígeno (%)	3,3	3,4	3,5	3,4	3,4
Humedad de viento (g/Nm <sup>3</sup> )	26	26	27	27	27
Temperatura de la llama (calculada, °C)	2188	2195	2201	2201	2204
Presión superior (bar, gauge)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabla 8. Cantidades de polvo del tragante, composición (porcentaje en peso) y origen estimado

Período	MPBO-2	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q	MPBO-3
Polvo de tragante, seco (kg/tHM)	5,4	2,9	2,7	3,0	4,4
Fe (%)	21,6	13,8	n.a.	13,3	21,8
SiO <sub>2</sub> (%)	11,1	15,9	n.a.	20,8	17,7
CaO (%)	16,2	14,1	n.a.	12,1	14,2
MgO (%)	4,3	9,2	n.a.	6,3	6,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,0	4,2	n.a.	4,0	4,0

(continuación)

5

Período	MPBO-2	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q	MPBO-3
MnO (%)	0,3	0,4	n.a.	0,4	0,3
K <sub>2</sub> O (%)	0,3	0,5	n.a.	0,4	0,6
C (%)	20,4	26,0	n.a.	31,2	16,5
A partir de pellas (kg/tHM)	1,5	0,5	n.a.	0,5	1,3
A partir de coque (kg/tHM)	14	0,9	n.a.	1,1	0,9
A partir de caliza (kg/tHM)	1,0	0,5	n.a.	0,4	0,8
A partir de escoria-BOF (kt/tHM)	1,0	0,5	n.a.	0,5	0,7
A partir de cuarcita (kg/tHM)	0,5	0,3	n.a.	0,3	0,7
A partir de revestimiento de olivino (kt/tHM)	-	0,2	-	-	-
A partir de revestimiento de cuarcita (kg/tHM)	-	-	-	0,2	-

Tabla 9. Análisis químicos (porcentaje en peso) de lodo, recogido por medio de un precipitador electrostático, en los ensayos de alto horno experimental

Período	MPBO-2	MPBO-O	MPBO-D	MPBO-Q	MPBO-3
Fe (%)	6,2	2,4	1,6	1,1	n.a.
SiO <sub>2</sub> (%)	19,2	20,2	22,6	18,2	n.a.
CaO (%)	8,8	7,3	8,0	7,4	n.a.
MgO (%)	8,7	10,3	14,7	10,7	n.a.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,1	6,6	8,4	8,3	n.a.
MnO (%)	0,6	0,5	0,7	0,5	n.a.
K <sub>2</sub> O (%)	1,2	1,1	1,0	0,7	n.a.
Na <sub>2</sub> O (%)	10,4	9,2	6,5	7,7	n.a.

ES 2 393 187 T3

V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,2	0,2	0,2	0,1	n.a.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,1	0,2	0,2	0,1	n.a.
C (%)	16,0	17,0	11,8	12,3	n.a.
S (%)	0,3	0,2	0,1	0,2	n.a.

Tabla 10. Composición y propiedades metalúrgicas de pellas de MPB1 y de MPB1 revestidas sometidas a ensayo en el Alto Horno Experimental

	Pellas de MPB1	Pellas revestidas con cuarcita-MPB1	Pellas revestidas con olivino-MPB1
Fe (% en peso)	66,8	66,6	66,3
CaO (% en peso)	1,45	1,53	1,53
MgO (% en peso)	0,31	0,35	0,49
SiO <sub>2</sub> (% en peso)	1,44	2,02	1,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% en peso)	0,35	0,37	0,38
Humedad (% en peso)	0,7	1,0	1,2

(continuación)

	Pellas de MPB1	Pellas revestidas con cuarcita-MPB1	Pellas revestidas con olivino-MPB1
Resistencia a compresión en frío ISO 4700 (daN/pella)	291	277	279
Desintegración a baja temperatura ISO 13930 (% + 6,3 mm)	78	82	75
LTD ISO 13930 (% - 0,5 mm)	12	10	15
Capacidad de reducción, R40 ISO 4695 (%O/min)	12	1,2	1,2
ITH <sup>1)</sup> (% + 6,3 mm)	78	83	83

<sup>1)</sup> Resistencia tras reducción (se trata el material reducido de ISO 4695 y se tamiza)

5 Tabla 11. Resumen de los resultados de operación en el Alto Horno Experimental en comparación con las pellas de MPB1 y de MPB1-revestidas.

	MPB1	Revestidas con cuarcita-MPB1	Revestidas con olivino-MPB1
Tiempo de ensayo (h)	42	67	76
Eta CO (%)	47,4	46,9	47,5
STD BDR (cm/min)	0,52	0,35	0,48
Tasa de producción (t/h)	1,56	1,54	1,57
Tasa de coque (kg/thm)	400	400	396
Tasa de carbón (kg/thm)	123	127	124
Temperatura media del metal caliente (°C)	1433	1445	1450
Contenido medio de Si en el metal caliente (%)	1,62	1,71	1,53

## ES 2 393 187 T3

Tabla 12. Composición de pellas de MPBO y pellas de MPBO revestidas con caolinita en el Alto Horno Experimental

% en Peso	Pellas MPBO	Pellas revestidas con caolinita-MPBO
Fe	66,6	66,4
CaO	0,38	0,40
MgO	1,52	1,49
SiO <sub>2</sub>	1,74	1,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33	0,52
Humedad	1,8	16

Tabla 13. Sumario de los resultados de operación en el Alto Horno Experimental comparando pellas de MPBO no revestidas con pellas de MPBO revestidas con caolinita

	MPBO-Ref	Revestidas con caolinita-MPBO
Tiempo (h)	50	62
Volumen de viento (nm <sup>3</sup> /h)	1516	1516
Enriquecimiento de oxígeno (nm <sup>3</sup> /h)	101	101
Producción (t/día)	34,1	34,6
STD BDR (cm/min)	1,53	1,15
BRI (-)	6,74	6,38
	MPBO-Ref	Revestidas con caolinita-MPBO
STD BRI (-)	0,33	0,21
Tasa de coque (kg/thm)	404	403
Tasa de aceite (kg/thm)	121	118
HMSi (%)	1,24	1,23
HM T (°C)	1422	1425
HM C (%)	4,49	4,56
Polvo de tragante (kg/thm)	5,6	3,6
Número de fluctuaciones/día	3,8	0,0

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un procedimiento para mejorar la tasa de producción de hierro en un alto horno en el que se introducen aglomerados que contienen hierro, comprendiendo el procedimiento poner en contacto un material que contiene hierro apto para introducción y cocido con una cantidad eficaz de modificación de escoria de una dispersión de un material particulado, en el que dicha puesta en contacto comprende formar una capa de revestimiento superficial al menos sobre partes de la circunferencia externa de los aglomerados que contienen hierro cocidos, y en el que dicho contacto tiene lugar antes de la introducción en el procedimiento de alto horno.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad eficaz de modificación de escoria de la dispersión comprende cualquier material reactivo con álcalis.
- 10 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el material reactivo con álcalis incluye cualquier material que contiene óxido de aluminio o cualquier material que contiene óxido de silicio.
- 15 4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material eficaz de modificación de escoria particulada está seleccionado entre el grupo que consiste en, un material que contiene cal que comprende cal calcinada, caliza, dolomita; un material que contiene magnesio que comprende magnesita, olivino, serpentina y periclasa; un material que contiene aluminio que comprende bauxita, arcillas bauxíticas y caolinitas, arcillas caoliníticas, mulita, corindón, bentonita, silimanitas, arcillas refractarias; o un material que contiene sílice que comprende cuarcita o cualesquiera minerales de sílice; o un material que contiene óxido que comprende óxido de bario; u otro material típico usado tal como ilmenita, rutilo.
- 20 5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad eficaz de modificación de escoria de la dispersión comprende partículas de sólido en un líquido.
6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad eficaz de modificación de escoria de la dispersión está formada por un material eficaz típico de reducción de agrupaciones.
- 25 7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el material eficaz típico de eliminación de agrupaciones está seleccionado entre el grupo que consiste en; un material que contiene cal que comprende cal calcinada, caliza, dolomita; un material que contiene magnesio que comprende magnesita, olivino, serpentina y periclasa; un material que contiene aluminio que comprende bauxita y caolinita, mulita, corindón, bentonita, silimanitas, arcillas refractarias; o un material que contiene sílice que comprende cuarcita; o un material que contiene óxido que comprende óxido de bario; u otro material típico usado tal como ilmenita, rutilo.
- 30 8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la cantidad eficaz de reducción de agrupaciones de la dispersión comprende partículas sólidas en un líquido.
9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad eficaz de la dispersión está formada por partículas sólidas en forma de mezcla de cualquier material típico de modificación de escoria particulada y cualquier material típico eficaz de reducción de agrupaciones.
- 35 10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las partículas sólidas son un material sólido a temperaturas mayores de 1000 °C, o cuando se calientan forman fases sólidas a temperaturas mayores que 1000 °C.
11. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la cantidad eficaz de reducción de agrupaciones de la dispersión comprende un aglutinante.
- 40 12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el aglutinante comprende bentonita, arcilla, un material de tipo cemento o material orgánico que se puede endurecer sobre las partículas manteniendo la mezcla de revestimiento en el sitio.
13. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en el que el material particulado se encuentra en el intervalo de 0,05 11m a aproximadamente 500  $\mu$ m.
- 45 14. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en el que más de 50% del material particulado tiene un tamaño de partícula menor de aproximadamente 45  $\mu$ m.
15. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en el que la dispersión está formada por una mezcla de material finamente dividido en un medio líquido, tal como una suspensión.
16. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la suspensión de revestimiento de la dispersión tiene un contenido de sólidos entre 1% y 90% de la mezcla.
- 50 17. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la suspensión de revestimiento de la dispersión tiene un contenido de sólidos de aproximadamente 30% de la mezcla.

18. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-17, en el que los aglomerados que contienen hierro se encuentran en forma de pellas, briquetas o granulados.

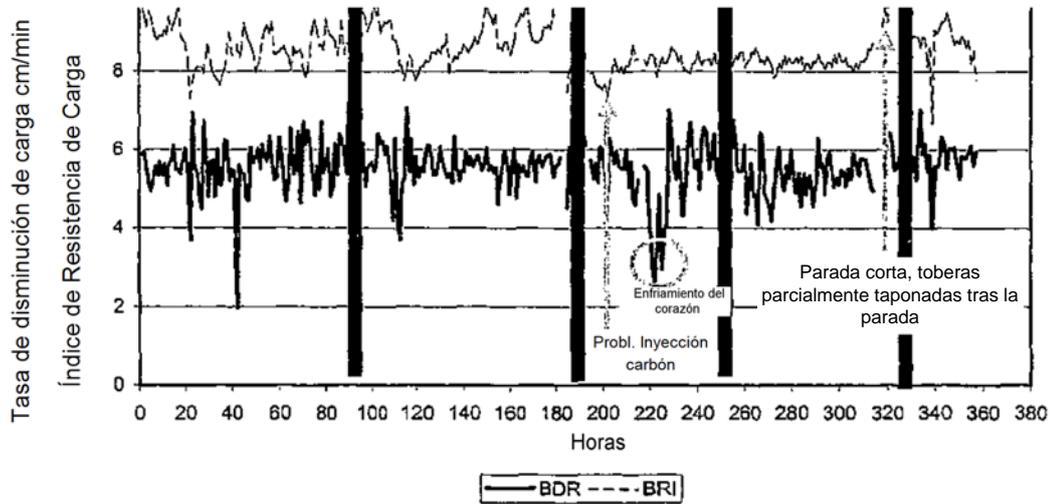


FIG. 1. Tasa de disminución de carga e índice de resistencia de carga para los ensayos del alto horno experimental con pellas de MPBO no revestidas y revestidas con varios minerales.

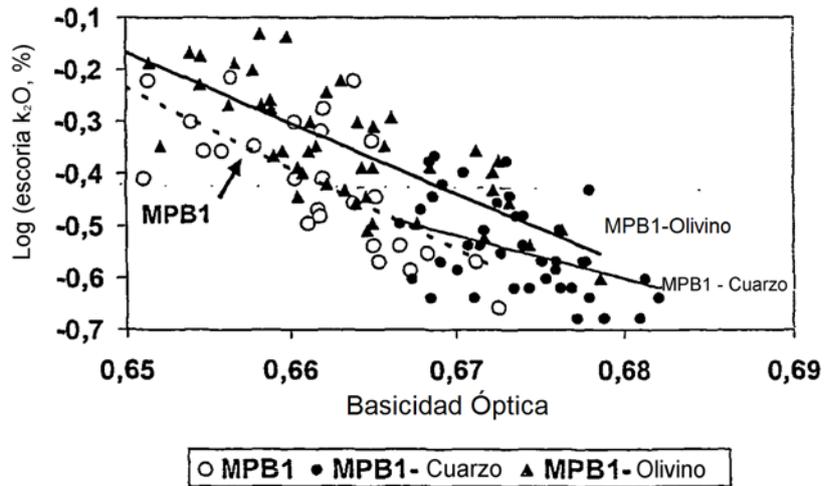


FIG. 2. Producción de óxido de potasio por medio de escoria como función de la basicidad óptica<sup>1)</sup> para períodos de operación con pellas de MPB1 y pellas de MPB1 con revestimientos de cuarcita y olivino. <sup>1)</sup> véase Slag Atlas, 2ª edición, VDEh ed., Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 1995, p. 11.

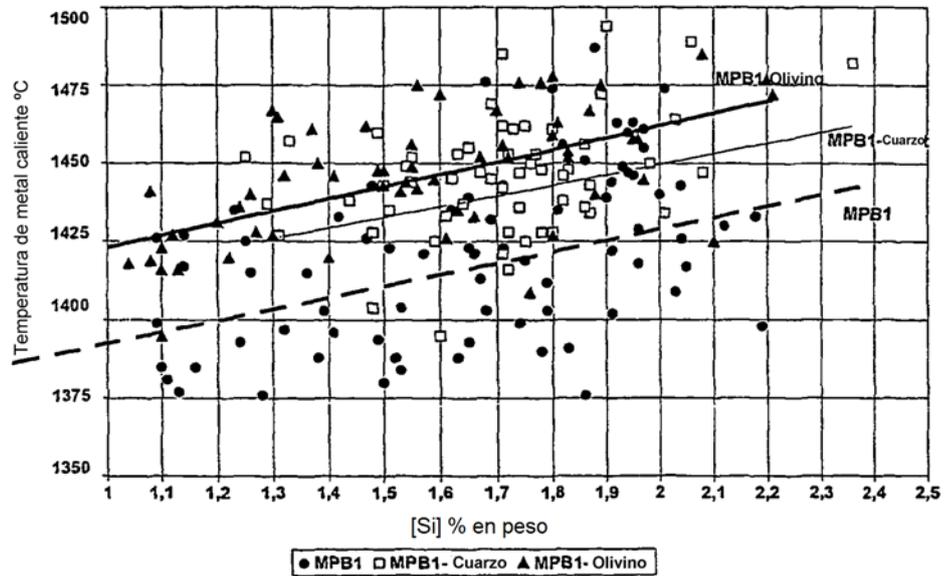
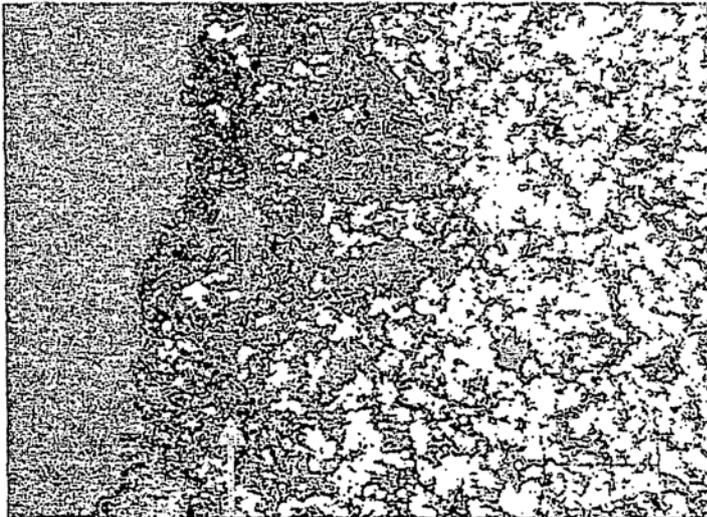


FIG. 3. Temperatura de metal caliente como función del contenido de silicio para pellas MPB1 y pellas MPB1 revestidas con olivino y cuarcita.



aproximadamente. Ensayo: 30%  $K_2O$ , 35% de  $SiO_2$ , 19%  $Al_2O_3$

Figura 4. Microfotografía de pella revestida con caolinita-MPBO retirada del vientre inferior del alto horno experimental con revestimiento restante apreciable. El análisis de microsonda SEM muestra la formación de aluminosilicatos de potasio y se identificó calsilita por medio de difracción de rayos-x.