

REVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la extracción continua de metales a partir de los minerales sulfurados que los contienen, con o sin hierro asociado, caracterizado por la reducción directa del metal o metales a extraerse, con regeneración y reciclaje del agente reductor hierro y del fundente carbonato de sodio a partir de las escorias y de los efluentes líquidos y gaseosos derivados de los procesos involucrados, en donde el referido procedimiento presenta las siguientes etapas:

- **Extracción de metales en el horno de fundición** donde se funden los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y/o no ferrosos que contienen al metal a extraerse tales como, sin limitarse a, plomo, plata, zinc, cobre, molibdeno, antimonio, arsénico, con o sin hierro asociado y, con oro y plata como inclusión en determinados casos, utilizándose hierro como agente reductor de los referidos metales no ferrosos y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales extraídos, fundidos o en estado pulverulento, una escoria controlada, fluida y conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono.

- **Disolución selectiva con agua del componente sulfuro de sodio en la escoria y filtrado de residuos** con el fin de obtener dos productos intermedios, el óxido ferroso sólido y una solución filtrada de sulfuro de sodio.

- **Regeneración del carbonato de sodio en el reactor de soluciones para su reciclaje**, mediante la mezcla de la solución filtrada de sulfuro de sodio con una solución sobresaturada de carbonato de sodio, insuflándosele a la referida mezcla el efluente gaseoso dióxido de carbono, captado y reciclado del proceso de extracción del metal no ferroso por reducción directa, obteniéndose el carbonato de sodio regenerado y como productos intermedios el gas sulfhídrico y agua.

- **Eliminación del gas sulfhídrico y obtención del azufre**, mediante la captación y conducción del efluente gaseoso a un reactor sólido/gas, a fin de que reaccione con el óxido de hierro hidratado para la obtención de sulfuro férrico más agua, productos que debidamente aireados se convierten en azufre elemental, agua y el regenerado óxido de hierro hidratado para su reciclaje.

- 5 - **Sinterización del óxido ferroso**, mediante la previa aglomeración y posterior calentamiento a temperatura controlada entre 1100 y 1300°C de los residuos sólidos obtenidos por filtración, luego disolver parte la escoria, con el fin de obtener pellets de óxido ferroso resistentes a la compresión, propiedad física requerida en la siguiente etapa de regeneración del agente reductor hierro.
- 10 - **Generación de los gases reductores monóxido de carbono e hidrógeno en el horno de combustión** utilizando como combustible carbón o coque metalúrgico o gas natural, proceso que se realiza en el referido horno al que se le insufla el aire y vapor de agua necesarios, conjuntamente con los gases reciclados dióxido de carbono residual y monóxido de carbono remanente, los mismos que se captan del horno de reducción en el que se regenera el agente reductor hierro.
- 15 - **Regeneración del agente reductor hierro para su reciclaje** mediante la reducción del referido metal contenido en el óxido ferroso, residuo derivado de la disolución de la escoria que ha sido aglomerado y sinterizado para una apropiada reacción con los gases reductores monóxido de carbono e hidrógeno generados en el horno de combustión, obteniéndose como producto el hierro metálico para su reciclaje al horno de fundición de concentrados de minerales sulfurados concentrados.

20
- 25 2. Un método para la extracción de metales comunes y preciosos a partir de los minerales sulfurados ferrosos y/o no ferrosos que los contienen, caracterizado por la fundición de estos en su forma de concentrado del metal o metales a extraerse, tales como, sin limitarse a, plomo, plata, zinc, cobre, molibdeno, antimonio, arsénico, incluyendo oro y/o plata si este estuviese contenido como inclusión en minerales tal como pirita, arsenopirita, calcopirita; utilizando hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como

30 productos el metal o los metales extraídos, fundidos o en estado sólido pulverulento, una escoria controlada, fluida y conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono.
- 35 3. Un procedimiento para la obtención del hierro metálico a partir del procesamiento de las escorias conformadas por óxido ferroso y sulfuro de sodio, caracterizado por:

 - La disolución, con agua, del sulfuro de sodio, componente de la escoria.
 - El filtrado del residuo sólido óxido ferroso.

- La aglomeración y sinterización del óxido ferroso para la formación de pellets de este compuesto.
 - La generación de los gases reductores monóxido de carbono y/o hidrógeno obtenidos en un horno de combustión a partir del carbón o coque metalúrgico o gas natural, conjuntamente con oxígeno, vapor de agua y/o dióxido de carbono. Opcionalmente, podrá prescindirse de este punto en particular, siempre y cuando los gases reductores monóxido de carbono y/o hidrógeno, en lugar de ser generados, sean adquiridos.
 - La reducción del hierro contenido en los pellets de óxido ferroso utilizando como agentes reductores los gases monóxido de carbono y/o hidrógeno.
4. Un procedimiento para la obtención de carbonato de sodio a partir del gas dióxido de carbono y de escorias de fundición conformadas por los compuestos óxido ferroso y sulfuro de sodio, caracterizado por:
- La disolución, con agua, del sulfuro de sodio, componente de la escoria.
 - El filtrado y separación de la solución resultante de la disolución del sulfuro de sodio con agua.
 - Procesamiento de la solución filtrada de sulfuro de sodio con el gas dióxido de carbono y una solución sobresaturada de carbonato de sodio.
 - El filtrado y calentamiento de los cristales de bicarbonato de sodio resultantes para su conversión en cristales de carbonato de sodio.
 - La extracción del gas hidrógeno sulfurado, generado en el procesamiento de la solución filtrada de sulfuro de sodio, con el fin de hacerlo reaccionar en un reactor sólido/gas con cristales de óxido de hierro hidratado.
 - La obtención en el reactor sólido/gas de cristales de sulfuro férrico y agua.
 - La aireación de los cristales de sulfuro férrico y agua con el fin de regenerar el óxido de hierro hidratado para su reciclaje y, a la vez, producir azufre elemental y agua.
5. Un método según la reivindicación 2, para la extracción del oro y plata, contenido como inclusión en los minerales sulfurados de hierro y/o, y de la plata, contenida en sus sulfurados, caracterizado por la fundición de los concentrados de los referidos minerales tales como, sin limitarse a, arsenopirita, pirita, marcasita, pirrotita, calcopirita, argentita o acantita, utilizando carbonato de sodio como fundente, hierro como agente reductor en los casos que corresponda y, como agregado adicional, conjuntamente con los reactantes, plomo metálico, portador del oro y la plata en el producto final que se obtiene del proceso de extracción de los referidos metales preciosos.

6. Un proceso para la extracción de hierro metálico a partir de los concentrados de minerales sulfurados de hierro tales como, sin limitarse a, los monosulfuros pirrotita y arsenopirita, los bisulfuros marcasita y pirita, caracterizado por la fundición de estos concentrados utilizando carbonato de sodio como fundente, y hierro adicional como agente reductor en los casos que corresponda, teniendo como resultado la extracción del hierro metálico a partir de las escorias generadas y conformadas por óxido ferroso y sulfuro de sodio, con regeneración y reciclaje de los referidos insumos metalúrgicos, teniéndose las siguientes etapas:
- Fundición de los concentrados de minerales sulfurados de hierro, utilizando carbonato de sodio, como fundente, y hierro adicional, como reductor o reaccionante en los casos que aplique.
 - La disolución con agua del componente de la escoria sulfuro de sodio.
 - El filtrado del residuo sólido óxido ferroso.
 - La aglomeración y sinterización del óxido ferroso para la formación de pellets de este compuesto.
 - La generación de los gases reductores monóxido de carbono e hidrógeno obtenidos en un horno de combustión a partir del carbón o coque metalúrgico o gas natural, conjuntamente con oxígeno, vapor de agua y/o dióxido de carbono, suprimiéndose este punto si los gases reductores monóxido de carbono y/o hidrógeno son adquiridos.
 - La reducción del hierro contenido en los pellets de óxido ferroso utilizando como agentes reductores los gases monóxido de carbono y/o hidrógeno.
7. Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para minerales sulfurados no ferrosos de un solo metal, caracterizado por:
- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del

mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.

- 5 - Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.

- 10 - Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.

- 15 - Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.

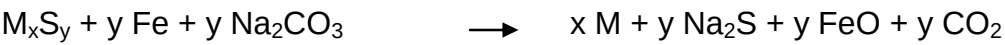
- 20 - Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o pulverulentos, dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:

- 30 • **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.

- 35 • **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.

- **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble en agua.
- **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.
- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para minerales sulfurados no ferrosos de un solo metal:



Dónde:

- **M** es el metal no ferroso a extraerse tal como, sin limitarse a, plomo, plata, zinc, cobre, molibdeno, antimonio.
- **M_xS_y** es la fórmula química establecida para el mineral sulfurado al que se le va extraer el metal M.
- **x** e **y** indican los números de átomos del metal M a extraerse y del azufre, respectivamente, que existen en M_xS_y, de cuyos valores dependen los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes y de los productos que se obtienen en el proceso.

8. Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para minerales sulfurados ferrosos de un solo metal, caracterizado por:

- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.
- Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los

átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.

- 5 - Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.

- 10 - Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.

- 15 - Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o

20 pulverulentos , dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor

25 y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:
 - **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del

30 intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.
 - **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.
 - **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble

35 en agua.
 - **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.

- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para minerales sulfurados ferrosos de un solo metal:



Dónde:

- **M** es el metal no ferroso a extraerse tal como, sin limitarse a, cobre, arsénico, plomo, zinc.
 - **M_xFe_yS_z** es la fórmula química establecida para el mineral sulfurado ferroso al que se le va extraer el metal M.
 - **x, y, z** indican los números de átomos del metal M a extraerse, del hierro y del azufre respectivamente, existentes en M_xFe_yS_z, de cuyos valores dependen los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes y de los productos que se obtienen en el proceso.
- 15
9. Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para minerales
- 20 sulfurados de un solo metal, ferrosos y/o no ferrosos, con Oro y/o Plata, caracterizado por:
- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los
- 25 reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se
- 30 tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.
- Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los
- 35 átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.

- Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.

5

- Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.

10

- Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o pulverulentos, dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:

15

20

25

- **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.
- **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.

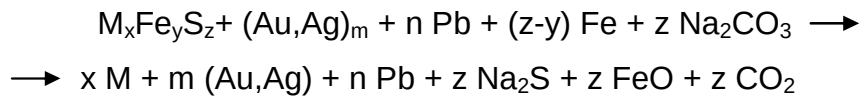
30

- **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble en agua.
- **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.

35

- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para minerales sulfurados de un solo metal, ferrosos y/o no ferrosos, con Oro y/o Plata:



5 Dónde:

- **M** es el metal no ferroso a extraerse tal como, sin limitarse a, cobre, arsénico, plomo, zinc.
- **M_xFe_yS_z** es la fórmula química establecida para el mineral sulfurado ferroso y no ferroso (para y = 0) al que se le va extraer el metal M y los metales
- 10 preciosos que se presentan asociados.
- **x, y, z** indican los números de átomos del metal M a extraerse, del hierro y del azufre respectivamente, existentes en M_xFe_yS_z, de cuyos valores dependen los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes y de los productos que se obtienen en el proceso.
- 15 - **(Au,Ag)_m** representan la inclusiones de Oro (Au), Plata (Ag) y Electrum (Au/Ag) que en un número "m" se presentan dentro de la matriz del mineral M_xFe_yS_z.
- **Pb** representa el metal Plomo que en la cantidad "n" se agrega conjuntamente con los reactantes para los efectos de ser el portador final del Oro y la Plata.

20

10. Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para combinaciones

25 de varios minerales sulfurados de un solo metal, ferrosos y/o no ferrosos, caracterizado por:

- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los
- 30 reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se
- 35 tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.
- Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de

metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.

- 5 - Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.

- 10 - Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.

- 15 - Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o pulverulentos, dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:

- 30 • **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.

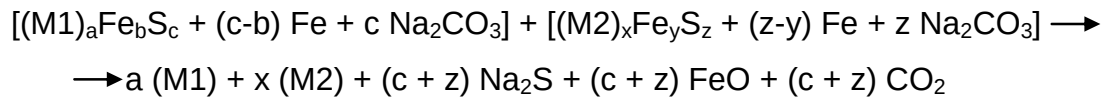
- **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.

- **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble en agua.

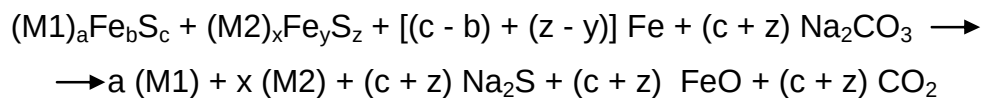
- 35 • **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.

- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para combinaciones de varios minerales sulfurados de un solo metal, ferrosos y/o no ferrosos:



que expresado de otra forma es igual a:



Dónde:

- **M1 y M2** son los metales no ferrosos a extraerse tales como, sin limitarse a, cobre, arsénico.
- **(M1)_aFe_bS_c** y **(M2)_xFe_yS_z** son las fórmulas químicas establecidas para los minerales sulfurados, ferrosos y/o no ferrosos (para y = 0), a los que se le va extraer los metales no ferrosos M1 y M2.
- Los subíndices **a, b, c** así como **x, y, z** indican los números de átomos con los que intervienen tanto los metales M1 y M2 como el Hierro y el Azufre existentes en (M1)_aFe_bS_c y (M2)_xFe_yS_z respectivamente, de cuyos valores dependen los valores de los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes (agente reductor y fundente) y de los productos que se obtienen en el proceso (metales fundidos, escoria y efluente gaseoso).

11. Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para minerales sulfurados bimetálicos ferrosos y/o no ferrosos, caracterizado por:

- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del

mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.

- 5 - Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.

- 10 - Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.

- 15 - Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.

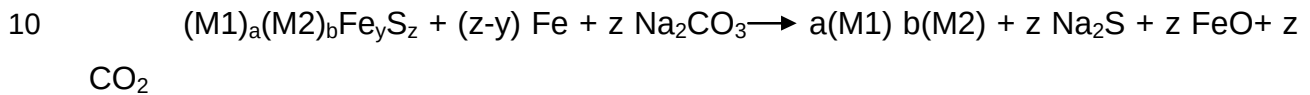
- 20 - Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como
- 25 fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o pulverulentos , dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es
- 30 indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:

- 35 • **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.

- **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.

- **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble en agua.
- **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.
- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para minerales sulfurados bimetálicos ferrosos y/o no ferrosos:



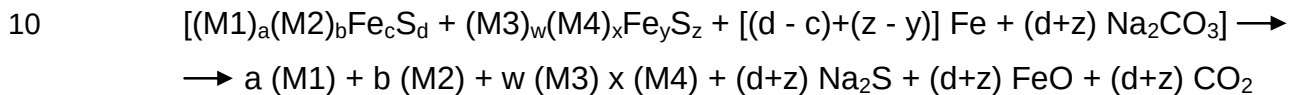
Dónde:

- **M1** y **M2** son los metales no ferrosos a extraerse tales como, sin limitarse a, antimonio, zinc, cobre, plata, arsénico, cobalto.
 - **(M1)_a(M2)_bFe_yS_z** es la fórmula química establecida para el mineral sulfurado ferroso y/o no ferroso (para y = 0) al que se le va extraer los metales no ferrosos M1 y M2.
 - Los subíndices **a**, **b** así como **y**, **z** indican los números de átomos con los que intervienen tanto los metales M1 y M2 como el Hierro y el Azufre, respectivamente, existentes en **(M1)_a(M2)_bFe_yS_z**, de cuyos valores dependen los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes (agente reductor y fundente) y de los productos que se obtienen en el proceso (metales fundidos, escoria y efluente gaseoso).
- 12.** Un procedimiento para determinar, en un proceso de reducción directa de metales a partir de los concentrados de minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos que los contienen, las cantidades que son necesarias de hierro como agente reductor y de carbonato de sodio como fundente, para combinaciones de minerales sulfurados bimetálicos, ferrosos y no ferrosos caracterizado por:
- Establecer el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, requeridos como agente reductor, o facilitador del intercambio atómico entre los reactantes, en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que se encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse, deduciéndose del mismo el número de átomos gramo de hierro, o su equivalente en peso, que se tenga como componente atómico en los referido compuestos mineralógicos.

- Establecer el número de moles de carbonato de sodio, o su equivalente en peso, requeridos como fundente en el referido proceso de reducción directa de metales, mediante la determinación del número que resulte de sumar todos los átomos de azufre que encuentren contenidos en la fórmula química de los compuestos mineralógicos que contienen el o los metales a extraerse.
- Establecer que el número de moles de óxido ferroso, o su equivalente en peso, que se obtiene como producto en la escoria del proceso, es igual al número total de átomos de hierro requeridos como agente reductor entre los reaccionantes del proceso.
- Establecer que el número de moles, tanto de sulfuro de sodio como de dióxido de carbono, o sus pesos equivalentes, que se obtienen como productos, tanto en la escoria como en el efluente gaseoso del proceso, son iguales al número total de moles de carbonato de sodio requerido como fundente entre los reaccionantes del proceso.
- Lo anterior aplica para casos en los cuales en el horno de fundición considerado para el proceso, se funden los concentrados de minerales sulfurados que contienen al metal o metales a extraerse, según aplique, para lo cual se utiliza hierro como agente reductor y carbonato de sodio como fundente, resultando como productos el metal o metales fundidos o pulverulentos, dependiendo de las propiedades físicas de los referidos metales y según aplique, una escoria de composición controlada conformada por óxido ferroso y sulfuro de sodio, y emisiones gaseosas de dióxido de carbono. A efectos de tener un control efectivo en la composición de la escoria, lo cual es indispensable para hacer posible la regeneración y reciclaje del agente reductor y del fundente, se establecen las siguientes reacciones generales para los siguientes casos, considerando las siguientes definiciones generales:
- **Fe** es un elemento reactante de estado de oxidación cero, que al ser agregado al reactor principal actúa como agente reductor o como facilitador del intercambio atómico entre el azufre y el sodio, según sea el caso.
- **Na₂CO₃** es un compuesto químico reactante denominado carbonato de sodio, el cual es agregado al reactor principal como fundente.

- **Na₂S** es uno de los componentes de la escoria de nombre sulfuro de sodio obtenido como producto de la reacción química general y es altamente soluble en agua.
- **FeO** es el otro componente de la escoria denominado óxido ferroso, obtenido como producto de la reacción química general y es insoluble en agua.
- **CO₂** es el efluente gaseoso de nombre dióxido de carbono, obtenido como producto de la reacción química general.

Para combinaciones de minerales sulfurados bimetálicos, ferrosos y no ferrosos:



Dónde:

- **M1, M2, M3 y M4** son los metales no ferrosos a extraerse tales como, sin limitarse a, antimonio, zinc, cobre, plata, arsénico, cobalto.
- $(M1)_a(M2)_bFe_cS_d$ y $(M3)_w(M4)_xFe_yS_z$ son las fórmulas químicas establecidas para minerales sulfurados ferrosos y no ferrosos a los que se les va extraer los metales no ferrosos M1, M2, M3 y M4.
- Los subíndices **a, b, c, d** así como **w, x, y, z** indican los números de átomos con los que intervienen tanto los metales M1, M2, M3 y M4 como el Hierro y el Azufre, respectivamente, existentes en $(M1)_a(M2)_bFe_cS_d$ y $(M3)_w(M4)_xFe_yS_z$, de cuyos valores dependen los coeficientes estequiométricos de los demás reactantes (agente reductor y fundente) y de los productos que se obtienen en el proceso (metales fundidos, escoria y efluente gaseoso).

Cabe indicar que la formulación estequiométrica antes indicada tiene validez incluso cuando se presentan alguno (o todos) de los siguientes casos:

- Cuando las fórmulas químicas de los minerales sulfurados bimetálicos contienen un metal no ferroso en común; es decir, cuando (M1, M2) es igual en parte a (M3, M4).
- Cuando en la combinación de los minerales sulfurados bimetálicos, uno de los minerales sulfurados es de tipo ferroso y el otro mineral sulfurado es de tipo no ferroso.

En este sentido, la presencia simultánea de ambos casos arriba expresados presentaría la siguiente formulación estequiométrica, donde $M4=M2$, e $y=0$:

