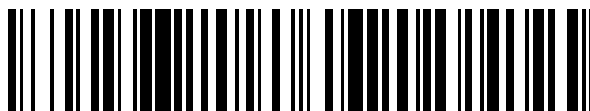


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 642**

51 Int. Cl.:

C21C 5/46 (2006.01)

C21C 5/52 (2006.01)

F27D 3/16 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

F27B 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2014 PCT/EP2014/064713**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15004182**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2014 E 14737250 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017 EP 3019634**

54 Título: **Inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas**

30 Prioridad:

12.07.2013 DE 102013213738

25.10.2013 DE 102013221749

16.12.2013 DE 102013226109

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

23.10.2017

73 Titular/es:

**SMS GROUP GMBH (100.0%)
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE**

72 Inventor/es:

**ODENTHAL, HANS-JÜRGEN;
KLIOUTCHNIKOV, IGOR y
OLIVIER, HERBERT**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 638 642 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

Inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas

Área técnica

5 La presente invención hace referencia a un inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria.

Estado del arte

10 Por el estado del arte se conocen inyectores con chorro coaxial. Los inyectores de esa clase se utilizan para el soplado y el soplado hacia el interior de gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal, con el objetivo de descarburizar la masa fundida de metal y, al mismo tiempo, establecer una capa protectora de espuma de escoria, con capacidad de reacción, sobre la masa fundida de metal. Además, los inyectores se utilizan para fundir chatarra que se encuentra presente al principio en el horno de arco eléctrico a través de la aplicación selectiva de energía en forma de gases combustibles. Los inyectores modernos pueden conmutar entre esos dos modos, es decir, entre el modo de inyector y el modo de quemador. A continuación, el término "inyector" se utilizará de modo equivalente al término "inyector de quemador" combinado.

15 El inyector acelera el gas rico en oxígeno, mayormente oxígeno puro, a la velocidad supersónica. Las velocidades de clase pueden alcanzarse exclusivamente con una así llamada boquilla de Laval, la cual se utiliza aquí como boquilla primaria.

20 Las boquillas de Laval optimizadas en cuanto a la técnica de flujo se utilizan para inyectores y lanzas de soplado, para un uso definido en plantas metalúrgicas (hornos de arco eléctrico (EAF), hornos de reducción (SAF), convertidores (AOD, BOF), para plantas metalúrgicas secundarias (VOD, RH) etc.). Las boquillas de Laval se componen de un área convergente y de un área divergente, donde su tarea consiste en acelerar el chorro de gas (aire, oxígeno, gas inerte, etc.) a la velocidad supersónica (número de Mach $M > 1$).

25 La función de la boquilla de Laval se explicará en el ejemplo de la utilización en el horno de arco eléctrico:

30 Desde mediados de los años '90, quemadores de gas natural se utilizan para fundir y sobrecalentar chatarra o hierro en el horno de arco eléctrico, para reducir la necesidad de energía eléctrica y aumentar la productividad. Mientras que la energía introducida y, con ello, la potencia de fusión en el centro del horno se encuentran al máximo, en el área de las paredes del horno se forman los así llamados lugares fríos (cold spots). Aquí, a través de la incorporación de quemadores en la pared del horno puede introducirse energía química adicional. Además, la masa fundida puede descarburizarse a través del soplado de oxígeno. Los sistemas de quemadores modernos se componen actualmente de una tecnología combinada de quemador/inyector.

35 El inyector es un sistema combinado para fundir chatarra y para maleabilizar la masa fundida de metal. La figura 1 muestra la estructura del inyector, compuesta por el generador de llama (flame generator) y la unidad de quemador / inyector (burner/injector tube). El inyector se compone de la boquilla de Laval central antes descrita (supersónica) y de una boquilla de abertura anular coaxial (subsónica). La totalidad de la cabeza está fundida o forjada en cobre. La boquilla de Laval y la boquilla de abertura anular son refrigeradas con agua a través de canales internos. El inyector se encuentra instalado en un panel de cobre, cuyo diseño y disposición admite una distancia reducida entre la boquilla y la superficie de la masa fundida. Además, a través de la posición de la boquilla, en el caso de un desgaste excesivo, no resulta afectado el revestimiento refractario. Debido al modo de construcción de la cuba intercambiable del horno cualquier inyector puede ser cambiado. De manera adicional, el interior puede ser cambiado de forma separada, lo cual contribuye a una reducción de los costes para el mantenimiento. Todos los tubos flexibles para el suministro de los medios están provistos de acoplamientos rápidos. Las cantidades de flujo (O_2 , CH_4 , aire) son controladas por una estación de válvulas. El intervalo de mantenimiento del inyector generalmente es más prolongado que el intervalo correspondiente a la cuba del horno. El mantenimiento tiene lugar al cambiar la cuba o al revestir nuevamente el horno de arco eléctrico.

40 En la práctica, el inyector trabaja en diferentes fases, en el modo piloto, el modo de quemador y el modo de inyector, figura 2.

45 El modo piloto, figura 2a, es un modo de espera, y se prevé en el caso de un inyector inactivo. La llama del piloto se compone de un gas de combustión del quemador de gas natural, el cual es prendido con una bujía. El control de la

llama tiene lugar con un electrodo de ionización con unidad electrónica de evaluación. La llama del piloto evita que gotas de escoria y de masa fundida se adhieran en el inyector. La geometría especial de la boquilla, con la boquilla primaria central retraída y la abertura anular dispuesta de forma concéntrica, impide la obstrucción de la boquilla a través del efecto de pulverización de parte de la masa fundida de metal y de la escoria.

- 5 En el modo de quemador, figura 2b, energía térmica es suministrada al horno de arco eléctrico. Oxígeno y gas natural no quemados son transportados a través del inyector, mezclándose en el horno para producir una mezcla combustible que se enciende a través de la atmósfera del horno. No es necesario un encendido separado mediante una bujía. La llama potente ayuda a la fundición de la chatarra en áreas frías, homogeneizando el patrón de fusión. La disposición y el control de los quemadores se observan de modo uniforme y están adaptados uno a otro.
- 10 En la fase de baño plano se pasa al modo de inyector, figura 2c. Para una descarburación de la masa fundida de metal es determinante la interacción óptima de oxígeno y masa fundida de metal. Esto se logra a través de un chorro supersónico que sale de la boquilla aproximadamente con el doble de la velocidad del sonido, el cual incide con un impulso elevado sobre la masa fundida de metal. El generador de gas caliente integrado (hot gas generator), de manera similar al modo piloto, proporciona un chorro envolvente de gas de combustión caliente que envuelve el
- 15 chorro de oxígeno frío, aumentando así la longitud del área supersónica.

Por la solicitud WO2011/120976A1 es conocido el hecho de que el contorno interno - aproximadamente en forma de una campana - de una boquilla de Laval sea determinado según un método numérico especial, el cual se basa en la solución de las ecuaciones parciales diferenciales dinámicas del gas.

- 20 En el método característico, las líneas de Mach, es decir, las líneas con leves fallos de presión, las cuales se propagan a la velocidad del sonido y las cuales están dispuestas bajo un ángulo definido, el ángulo de Mach, con respecto al vector de velocidad local, se fijan como base para las características en sentido horario y en sentido antihorario, denominadas de ese modo. A lo largo de esas características es conocida la solución de las ecuaciones diferenciales parciales.

- 25 El método característico brinda una solución con respecto al flujo de gas estacionario, isoentrópico, con simetría rotacional, mediante las ecuaciones características espacialmente discretizadas, considerando condiciones de compatibilidad. Expresado de otro modo, para cada posición axial (coordenada x) a lo largo de la boquilla primaria se determina un valor radial correspondiente (coordenada r), de manera que dentro de la boquilla se produce un flujo de gas sin perturbaciones.

- 30 La boquilla supersónica conocida por la solicitud WO201120976A1 se trata de una clase de boquilla definida de forma fija, la cual ha sido diseñada con el método característico mencionado, desarrollado de manera especial, con el objetivo de

- fabricar boquillas de bajo desgaste
- generar un chorro de gas lo más largo posible, en este caso de oxígeno.

- 35 Como clase de boquillas se denominan aquellas boquillas que han sido diseñadas para un rango de presión determinado y, al mismo tiempo, para un rango de flujo volumétrico determinado. La patente antes descrita protege una clase especial de contornos de boquillas individuales, determinada numéricamente, la cual por una parte garantiza un desgaste reducido de la boquilla y, por otra parte, garantiza una longitud máxima del rango supersónico del chorro de gas, en el caso de una utilización en equipos auxiliares metalúrgicos.

- 40 Considerando lo mencionado anteriormente, es evidente que en el modo de inyector, por tanto, al soplar oxígeno con una boquilla primaria individual en la superficie de la masa fundida, el objetivo primario consiste en descarburizar del modo más eficiente y efectivo posible la masa fundida de metal, pero generando al mismo tiempo también una buena espuma de escorias en el horno de arco eléctrico, para proteger la geometría circundante del
- 45 inyector de oxígeno es instalado en un panel del horno de arco eléctrico dispuesto aguas arriba, y se encuentra dispuesto bajo un ángulo de aproximadamente $40^\circ - 45^\circ$, el chorro de oxígeno eventualmente debe superar largos tramos de hasta 3 m, para alcanzar la superficie de la masa fundida. Esto sucede en particular en la fase de baño plano. Por lo tanto, es necesario generar un chorro supersónico de oxígeno coherente, lo más largo posible, el cual incida con un flujo de impulso elevado del chorro, así como con una fuerza del chorro (en Newton), en la superficie de la masa fundida. Sólo en ese caso es posible una buena descarburización, al mismo tiempo que un mezclado
- 50 intenso de la masa fundida de metal. Para que la longitud supersónica sea lo más prolongada posible, el chorro de gas no debe presentar ninguna clase de perturbación, ni dentro ni fuera de la boquilla de Laval, lo cual puede ser el caso tanto de la boquilla de Laval, como también de la boquilla de abertura anular, si el contorno de la pared está mal diseñado.

Descripción de la invención

Partiendo del estado del arte, el objeto de la presente invención consiste en indicar un inyector que proporcione una longitud supersónica aún más mejorada.

5 Este objeto se alcanzará a través de un inyector con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se indican perfeccionamientos ventajosos.

10 De manera correspondiente, se sugiere un inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria, donde la boquilla primaria presenta una sección convergente y una sección divergente que limitan una con otra en un radio de la sección transversal r^* más estrecha, caracterizado porque la boquilla primaria y la boquilla secundaria están definidas en su respectivo caso de diseño a través del siguiente grupo de formas de la boquilla:

Boquilla primaria				Boquilla secundaria			
Presión p_0 [bar]	Flujo volumétrico V_0 [Nm ³ /min]	Radio en la sección transversal más estrecha r^* [mm]	Radio de salida r_1 [mm]	Longitud de la boquilla l [mm]	Número de Mach M_s [-]	Temperatura T_s [K]	Altura de abertura coaxial H_s [mm]
4	20	12,0	14,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
4	200	39	44,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
14	20	6	10,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
14	200	21	33,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3

15 El objeto planteado anteriormente se alcanzará además a través de un inyector con las características de la reivindicación 2. En las reivindicaciones dependientes se indican perfeccionamientos ventajosos.

20 De manera correspondiente, se sugiere un inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria, donde la boquilla primaria presenta una sección convergente y una sección divergente que limitan una con otra en un radio de la sección transversal r^* más estrecha, caracterizado porque el contorno interno y el contorno externo de la boquilla secundaria están determinados numéricamente de manera que el número de Mach convectivo $M_{c^{\infty s}}$ entre el ambiente (∞) y el chorro secundario (s) generado a través de la boquilla secundaria es igual al número de Mach convectivo M_{csp} entre el chorro secundario (s) y el chorro primario (p) generado a través de la boquilla primaria:

$$M_{c^{\infty s}} = M_{csp}$$

30 Las soluciones antes mencionadas ofrecen la ventaja de que, en comparación con una boquilla individual sin chorro secundario, se amplía hasta aproximadamente en un 40 % la longitud supersónica del chorro de oxígeno central, es decir, del chorro primario, a través del chorro secundario adaptado, paralelo. Además, para el caso de realización del chorro de oxígeno, dentro y fuera de la boquilla primaria no se observan fallos de presión, y si se presentan sólo son muy reducidos. El chorro de gas se sitúa así de forma correspondiente en el contorno de la boquilla, refrigerando la pared. De este modo, el desgaste de la boquilla es reducido.

35 Gracias al chorro de oxígeno central más prolongado puede contarse con un mejor trabajo metalúrgico, lo cual aumenta la productividad y reduce los costes.

Además, debido al chorro de oxígeno central más prolongado, en comparación con inyectores con un chorro de oxígeno más corto, en el caso del mismo trabajo metalúrgico, el inyector puede posicionarse más elevado sobre el nivel de la masa fundida de metal. Allí el inyector se encuentra mejor protegido de las salpicaduras de metal / de escoria.

Además, en el caso de hornos con un diámetro de gran tamaño, el inyector también puede alcanzar zonas de la masa fundida que se encuentran alejadas.

Preferentemente, la boquilla primaria está determinada para ser utilizada con oxígeno y la boquilla secundaria está determinada para ser utilizada con CH₄ o LPG.

5 Se considera aún más preferente que la boquilla secundaria esté diseñada como boquilla subsónica.

En una variante preferente se proporciona un generador de gas caliente acoplado a la boquilla secundaria, el cual, mediante la boquilla secundaria, suministra un chorro secundario de gas de combustión caliente. De manera especialmente preferente, el generador de gas caliente puede ser controlado de manera que, para el diseño de la boquilla secundaria y de la boquilla primaria, se alcanza la cantidad optimizada de gas residual, en el caso de una temperatura optimizada del gas residual.

En otro perfeccionamiento preferente, el contorno interno de la boquilla primaria corresponde al contorno determinado por vías numéricas con un método característico modificado.

En ese caso, el contorno interno de la boquilla primaria se determina a través de la solución numérica de las ecuaciones diferenciales dinámicas del gas parciales, en donde el flujo de gas estacionario, isoentrópico, con simetría rotacional, se representa mediante ecuaciones características espacialmente discretizadas, considerando condiciones de compatibilidad correspondientes. De manera especialmente preferente, en la solución de las ecuaciones diferenciales numéricas parciales se considera la influencia de un flujo de capa límite próximo a la pared, sujeto a fricción.

De manera aún más preferente, en la boquilla primaria se presenta la relación de la longitud de la boquilla l con respecto al radio en la sección transversal más estrecha r^* , es decir l/r^* , ubicándose entre 2,1 y 11,6, preferentemente entre 2,1 y 8,3, de manera aún más preferente entre 2,1 y 5,4, de manera aún más preferente entre 2,1 y 5,0, presentando en particular valores de 11,6, 8,3, 5,4, 5,0, 4,8, 4,2, 4,1, 3,6, 3,3, 3,1 ó 2,1.

Otros ejemplos de ejecución preferentes se indican en las reivindicaciones dependientes o en la reivindicación 15.

Breve descripción de los dibujos

25 A continuación, la presente descripción se explicará una vez más en detalle en base a las figuras añadidas. Éstas muestran:

Figura 1: la estructura de un inyector según el estado del arte;

Figuras 2a - c: el inyector en diferentes fases de funcionamiento;

Figuras 3a y 3b: las condiciones técnicas de flujo;

30 Figura 4: un contorno típico de la boquilla para un inyector diseñado de forma correspondiente;

Figura 5: las denominaciones seleccionadas en el inyector;

Figura 6: una geometría del inyector diseñada de acuerdo con la invención.

Descripción detallada de los dibujos

35 A continuación se describen diferentes formas de ejecución de la presente invención, donde los mismos símbolos de referencia se utilizan para los mismos componentes o para componentes similares, prescindiendo parcialmente de una descripción repetida.

Las figuras 1 y 2 ya han sido comentadas con respecto al estado del arte.

La figura 1 muestra un ejemplo de un inyector - quemador combinado para ser utilizado en el horno de arco eléctrico, con boquilla primaria retraída, con boquilla coaxial circundante.

40 Las figuras 2a, 2b y 2c muestran el principio de funcionamiento de un inyector - quemador combinado para ser utilizado en el horno de arco eléctrico.

La figura 2a muestra el modo piloto para mantener las boquillas libres de salpicaduras de masa fundida de metal / de salpicaduras de escoria.

La figura 2b muestra el modo de quemador para ayudar a la fundición de chatarra.

La figura 2c muestra el modo de inyector para descarburizar y para la formación de espuma de escorias.

- 5 La figura 3a muestra las condiciones técnicas de flujo y la notación seleccionada para un chorro supersónico que sale desde una boquilla individual en forma de un chorro primario. La boquilla primaria mencionada se compone de un área de entrada de flujo convergente y de un área de salida de flujo divergente. En la parte subsónica el oxígeno se acelera, en la sección transversal más estrecha, el cuello de la boquilla (abertura), alcanza por primera vez la velocidad del sonido ($M = 1$), acelerándose aún en mas en la parte divergente debido a la expansión. De este modo, el oxígeno se enfría hasta aproximadamente -110°C , antes de entrar en el ambiente caliente del horno, y de mezclarse allí con el gas ambiente caliente. Usualmente, el oxígeno sale de la boquilla con el doble de la velocidad del sonido ($M = 2$). El número de Mach es la relación de la velocidad del gas local u y la velocidad del sonido a

($M = u/a$ donde $a = \sqrt{\gamma RT}$). En este caso γ es el exponente isoentrópico, R es la constante del gas específica y T es la temperatura del oxígeno.

- 15 Para identificar las áreas en la figura 3 las magnitudes de estado termodinámicas (presión p , temperatura T) en la entrada de la boquilla se indican con el índice (0), en el cuello de la boquilla con (*) y en la salida con (1). Aguas abajo de la boquilla se encuentra gas del horno caliente (∞) con temperaturas típicas de 1650°C . Las variables esenciales del diseño para la boquilla primaria individual son la presión de entrada $p_{0,ox}$, el flujo volumétrico de oxígeno $V_{0,ox}$ y la presión del ambiente p_{∞} .

- 20 Como fórmula de aproximación para un chorro de oxígeno frío que ingresa en un ambiente frío con aproximadamente 20°C , aplica que la longitud del área supersónica asciende aproximadamente de 10 a 20 veces el diámetro de salida de la boquilla ($L_p^*/d_1 \approx 10 \text{ a } 20$), véase la figura 3a.

- 25 Sin embargo, para un chorro de oxígeno frío que ingresa en un ambiente caliente con aproximadamente 1650°C , aplica que la longitud del área supersónica asciende aproximadamente de 20 a 30 veces el diámetro de salida de la boquilla ($L_p^*/d_1 \approx 20 \text{ a } 30$).

Sin embargo, aun con una boquilla primaria optimizada en cuanto a la técnica de flujo sólo puede alcanzarse una longitud supersónica determinada L_p^* . La tarea del inyector con chorro coaxial y del método para su diseño y funcionamiento consiste en prolongar marcadamente esa longitud supersónica L_p^* a través de un chorro envolvente adicional, descrito de forma matemática, denominado a continuación también como chorro coaxial.

- 30 Por las publicaciones, véase "Murakami E.; Papamoschou, D.: Mean flow development in dual-stream compressible jets, The American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) 40 (2002) 6, p. 1131-1138", es conocido el hecho de que un chorro coaxial (índice s - secundario) que rodea el chorro primario (índice p - primario) aumenta la longitud del chorro supersónico central. El chorro coaxial mencionado se genera en una boquilla anular que está dispuesta alrededor de la boquilla primaria central. Ese fenómeno físico en este caso se transmite al inyector, pero con un principio del modelo desarrollado de un modo completamente nuevo. Mientras que el modelo según Murakami y Papamoschou (2002) se basa en el hecho de que ambos chorros, es decir el chorro primario y el chorro coaxial (chorro envolvente), son fríos y entran en un ambiente frío, en este nuevo modelo se utiliza un principio matemático, en donde

- el chorro primario es frío,
- el chorro secundario (equivalente a chorro coaxial, chorro envolvente) es caliente y
- ambos chorros, es decir el chorro primario y el chorro secundario, ingresan de forma paralela y con la menor distancia posible uno con respecto a otro en un ambiente caliente, con aproximadamente 1650°C .

- 45 De este modo, el nuevo principio del modelo matemático puede aplicarse por ejemplo en las condiciones de contorno de un horno de arco eléctrico. El nuevo modelo, denominado a continuación como modelo de chorro coaxial, fue validado a través de simulaciones numéricas detalladas, con la ayuda de la DNS (Direct Numerical Simulation).

La boquilla coaxial mostrada en la figura 3b se compone de una boquilla primaria central (chorro supersónico: $M > 1$) y de una boquilla con simetría rotacional (chorro subsónico $M < 1$), la boquilla coaxial propiamente dicha. A través de la boquilla primaria circula el gas primario frío (p), en mayor medida oxígeno, a través de la boquilla coaxial circula gas de combustión caliente, en mayor medida CO_2 .

5 Alrededor del chorro central supersónico de oxígeno frío (chorro primario - p) se inyecta un chorro envolvente anular subsónico caliente o un chorro coaxial subsónico (chorro secundario - s) de gas residual ya quemado, con una velocidad elevada, de forma paralela con respecto al chorro primario, para proteger el chorro primario de la atmósfera caliente del horno, reduciendo al mínimo las interacciones de la capa de transición entre el chorro primario y el ambiente caliente del horno. Este procedimiento se muestra en la figura 3b.

10 A través de esa medida puede aumentarse la longitud del chorro primario. En este caso es muy decisiva la interacción correcta, descrita aquí matemáticamente por primera vez, entre el chorro primario y el chorro secundario. Esa interacción se describe, así como es influenciada, a través de los siguientes parámetros en la salida de la boquilla secundaria:

- Número de Mach M_s del chorro coaxial (y con ello la velocidad de salida)

15 • Temperatura T_s del chorro coaxial

- Relación H_s/D_1 de la altura de la abertura coaxial H_s con respecto al diámetro de salida de la boquilla primaria D_1

En un procedimiento matemáticamente numérico (DNS) esos tres parámetros fueron determinados de manera que ambos chorros, es decir el chorro primario y el chorro coaxial, se encuentran adaptados exactamente uno con respecto a otro, formándose una longitud supersónica L_p^* máxima del chorro primario frío. La longitud supersónica

20 L_p^* de la nueva boquilla coaxial es aproximadamente un 40% más grande que aquella de una boquilla individual sin chorro envolvente. El criterio principal para la interacción exacta del chorro primario y el chorro secundario es que el número de Mach convectivo $M_{c \rightarrow s}$ entre el ambiente (∞) y el chorro secundario (s) debe ser igual al número de Mach convectivo M_{csp} entre el chorro secundario (s) y el chorro primario (p). Éste un principio matemático completamente nuevo para el diseño de chorros coaxiales que ingresan en un ambiente caliente. Los principios matemáticos

25 anteriores parten del hecho de que las velocidades del chorro primario y del chorro secundario deben ser iguales.

De este modo, para un inyector, preferentemente un inyector de oxígeno, se amplía la longitud L_p^* físicamente máxima posible del área supersónica. Con este fin, un chorro envolvente secundario (chorro coaxial) se coloca alrededor del chorro primario, el cual aísla y protege el chorro primario del gas del horno circundante (CO , CO_2 , aire, etc.) Se ha desarrollado un modelo matemático de chorro envolvente completamente nuevo (modelo de chorro

30 coaxial), el cual se utiliza para el diseño del inyector. Se protege una clase especial de inyectores que fueron diseñados con ese modelo de chorro coaxial.

La aplicación se refiere en primer lugar a inyectores, también en este caso a inyectores - quemadores combinados, para la entrada de oxígeno en el horno de arco eléctrico. Sin embargo, el método puede aplicarse en principio en cualquier inyector con chorro envolvente.

35 La aplicación del modelo de chorro coaxial se basa en el diseño ya optimizado de la boquilla primaria central. En el primer paso se determina el contorno en forma de campana de la boquilla primaria, es decir, con simetría rotacional, en base a un procedimiento estrictamente numérico que se estructura a partir de un método característico modificado. A través del contorno en forma de campana se garantiza que la boquilla primaria trabaje sin perturbaciones y con poco desgaste, que el flujo de impulso del chorro, así como la fuerza en la salida de la boquilla,

40 sean máximos, realizándose ya de ese modo una longitud supersónica relativamente grande del chorro de oxígeno.

En el segundo paso tiene lugar el diseño de la boquilla secundaria (boquilla coaxial). Se calculan el contorno interno y externo de la boquilla secundaria, así como las cantidades necesarias de gas de combustión (CH_4 , LPG, etc.), aire y/u oxígeno, que se agregan a la boquilla coaxial, las cuales se encienden dentro del inyector y deben ser quemadas. El gas de combustión caliente sale de la boquilla secundaria con temperaturas de entre

45 aproximadamente $500^\circ C$ y $1000^\circ C$. El procedimiento para el diseño se basa en el hecho de que todas las magnitudes se encuentran adaptadas unas con respecto a otras, de manera que se alcanza la longitud supersónica L_p^* máxima posible del chorro primario.

De acuerdo con el primer paso, la forma óptima, en forma de campana, con simetría rotacional, de la boquilla primaria, se determina en base a un método estrictamente numérico que se estructura a partir de un método

50 característico modificado. Dicho método considera tanto la influencia de la fricción en la capa límite de flujo, como también el efecto de desplazamiento de la capa límite de flujo en el flujo central. Los efectos de flujo

5 multidimensionales, por tanto, son considerados. A través del contorno en forma de campana se garantiza que la boquilla supersónica trabaje sin perturbaciones y con poco desgaste, que el impulso del chorro sea el máximo en la salida de la boquilla y que se realice una longitud supersónica muy larga del chorro de gas. Otra ventaja esencial reside en el hecho de que la longitud de la boquilla, en el caso de una eficiencia mejorada, se reduce aun en aproximadamente 20 - 30 %, y puede ahorrarse material de cobre. El peso de la lanza de soplado, así como del inyector, se reduce marcadamente, lo cual simplifica la instalación del equipo.

10 Con este fin, se determina el contorno ideal de la pared de la boquilla supersónica para el respectivo equipo metalúrgico, con un método característico especial, modificado, por vías estrictamente numéricas. El método característico es un método para solucionar las ecuaciones diferenciales parciales, dinámicas del gas. De este modo, las líneas de Mach, es decir, las líneas con leves fallos de presión, las cuales se propagan a la velocidad del sonido y las cuales están dispuestas bajo un ángulo definido con respecto al vector de velocidad local, se fijan como base para las características en sentido horario y en sentido antihorario, denominadas de ese modo. A lo largo de esas características es conocida la solución de las ecuaciones diferenciales parciales. En este caso, el método característico se acopla con una corrección de la capa límite, debido a lo cual se considera la influencia reductora del impulso de la capa límite de flujo en la boquilla primaria. Con la ayuda de este método estrictamente numérico se desarrolla una clase de contornos de las boquillas que son muy adecuados para la utilización en plantas metalúrgicas.

20 El contorno típico de una boquilla supersónica se compone de una parte subsónica convergente (parte subsónica) y de una parte supersónica divergente (parte supersónica). Con frecuencia, la parte supersónica se denomina también como parte de expansión.

Dentro de la capa límite el gas, desde la velocidad máxima en el borde de la capa límite, es frenado en la pared hasta la velocidad cero. Directamente en la pared aplica la así llamada condición de adherencia (no-slipcondition). El área individual del flujo de la boquilla ($M < 1$, $M = 1$, $M > 1$) está marcado en la figura.

25 La vía matemática de todo el método es compleja y por tanto sólo se describe aquí a modo de principios. Entre otras cosas, la solución se basa en las siguientes ecuaciones:

a) Ecuación base del flujo de gas estacionario, isoentrópico, con simetría rotacional.

$$(u^2 - a^2) \frac{\partial u}{\partial x} + (v^2 - a^2) \frac{\partial v}{\partial r} + uv \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = a^2 \frac{v}{r}$$

u,v: velocidad de flujo en dirección axial y dirección radial

x,r: coordenadas axiales y radiales

30 a: velocidad del sonido

b) Solución numérica de las ecuaciones características y de las condiciones de compatibilidad a lo largo de las características.

Ecuaciones características:

$$\left(\frac{dr}{dx} \right)_{c^-} = \tan(\theta - \alpha) \quad \text{y} \quad \left(\frac{dr}{dx} \right)_{c^+} = \tan(\theta + \alpha)$$

c-, c+: características en sentido horario y en sentido antihorario

35 θ : ángulo entre el vector de velocidad local y el sistema de coordenadas; ángulo de flujo

α : ángulo de Mach

Condiciones de compatibilidad a lo largo de las características:

$$d(\theta + \nu)_{c-} = \frac{1}{\sqrt{M^2 - 1 - \cot\theta}} \frac{dr}{r} \quad \text{y} \quad d(\theta - \nu)_{c+} = -\frac{1}{\sqrt{M^2 - 1 + \cot\theta}} \frac{dr}{r}$$

M: número de Mach

c) La línea de sonido y la línea inicial en el cuello de la boquilla son determinadas con las ecuaciones de potencial perturbador para flujos compresibles con simetría rotacional.

$$(\gamma + 1)\phi' x \phi''_{xx} - \phi' r r' - \frac{\phi' r}{r} = 0$$

5

ϕ : potencial perturbador

γ : coeficiente isoentrópico

d) Las velocidades de flujo se calculan con la velocidad del sonido crítica a^* , es decir $u' = \phi'_x$ y $v' = \phi'_r$.

$$u'(x,r) = kx + \frac{(\gamma + 1)k^2 r^2}{4} \quad \text{y} \quad v(x,r) = \frac{(\gamma + 1)k^2 x r}{2} + \frac{(\gamma + 1)^2 k^3 r^3}{16}$$

10

k: constante

Los valores iniciales se calculan desde la línea inicial hasta la característica inicial. Se utiliza aquí un método de iteración especial para determinar los puntos del retículo y los parámetros de flujo correspondientes, así como para considerar la curvatura de las características.

15

e) La parte de expansión de la boquilla supersónica con curvatura positiva del contorno se calcula desde la característica inicial hasta la última característica de expansión. Se utiliza aquí una función especial del contorno según la forma:

$$r = a + bx + cx^2 \quad \text{y} \quad \frac{dr}{dx} = \tan\theta = b + 2cx$$

a,b,c: constantes

20

Por último, las magnitudes de flujo se calculan en base a las características y a la función del contorno. Se controla el número de Mach del diseño en el eje del chorro.

f) La parte de expansión de la boquilla supersónica con curvatura negativa del contorno se determina a través de la última característica de expansión y de la línea de Mach desde el punto del eje. Se toman como bases las así llamadas características backward c- (hacia atrás) y la línea de flujo de la pared.

25

g) Para valores dados de r_k , R_1 , R_2 y β , la parte subsónica de la boquilla supersónica se determina a través de funciones del contorno especiales en forma de arcos de círculo, véase la figura 4.

$$r = f(x_k, r_k, R_2) \quad \text{para} \quad x \leq x_2$$

$$r = f(x_1, x_2, r_1, r_2) \quad \text{para} \quad x_2 \leq x \leq x_1$$

$$r = f(x_1, r_1, R_1, R_2) \quad \text{para} \quad x_1 \leq x \leq x_1$$

Como resultado del cálculo iterativo se obtiene un contorno de la boquilla optimizado, en forma de campana.

- 5 En el segundo paso, partiendo del contorno de la boquilla, optimizado de forma correspondiente, en forma de campana, se determina la geometría de la boquilla secundaria.

El chorro de la boquilla secundaria, denominado también como chorro coaxial o chorro anular, protege el chorro supersónico central, situado en el interior, de la boquilla primaria, puesto que se reducen las interacciones en las capas de transición con simetría rotacional, volviendo más estable el chorro primario.

- 10 El mecanismo físico tomado como base consiste en reducir la densidad del chorro secundario tanto como sea posible, en comparación con la densidad del chorro primario. Esto se logra utilizando un gas residual caliente de menor densidad en el lado secundario. La adecuación de la densidad mediante la temperatura, sin embargo, no conduce al objetivo, ya que en el caso de un diseño erróneo las capas de transición gaseosas se vuelven inestables, enrollándose y acortando así la longitud efectiva del chorro.

- 15 El aspecto más importante en el diseño de los inyectores con chorro coaxial reside en el hecho de que las velocidades de salida entre la boquilla primaria y secundaria no deben ser iguales, sino los números de Mach convectivos correspondientes. El número de Mach convectivo M_c describe la relación de la velocidad de flujo u de los vórtices amplios, los cuales son transportados convectivamente aguas abajo, con respecto a la velocidad del sonido local a .

- 20 Una gran cantidad de simulaciones DNS ha mostrado que para las magnitudes ya mencionadas

- Número de Mach M_s del chorro coaxial
- Temperatura T_s del chorro coaxial
- Relación H_s/D_1 de la altura de la abertura coaxial H_s con respecto al diámetro de salida de la boquilla primaria D_1

- 25 existe una optimización, en donde se regula la longitud máxima L_p^* del chorro primario. El nuevo criterio de optimización indica que el número de Mach convectivo $M_{c\infty s}$ entre el ambiente (∞) y el chorro secundario (s) debe ser igual al número de Mach convectivo M_{csp} entre el chorro secundario (s) y el chorro primario (p):

Criterio de optimización central: $M_{c\infty s} = M_{csp}$

- 30 El contorno de la boquilla calculado, de un inyector diseñado según el nuevo método, se representa en la figura 4. La boquilla primaria interna (boquilla primaria, oxígeno frío) se compone de la parte subsónica convergente y de la parte supersónica divergente, con desarrollo x de la curvatura primero positiva y después negativa.

El punto de partida del nuevo método es el contorno interno de esa boquilla primaria, la cual fue diseñada con el método característico. El contorno interno es el contorno óptimo para generar un área supersónica L_p^* larga.

En base a ello, el nuevo método determina numéricamente el contorno interno y el contorno externo de la boquilla secundaria externa (boquilla coaxial, gas residual caliente), de forma que tanto la geometría total, como también las

magnitudes térmicas del proceso del gas coaxial se calculan de manera que la longitud supersónica L_p del chorro primario se prolonga una vez más.

En la figura 5, las siguientes denominaciones se encuentran seleccionadas para el nuevo modelo de chorro coaxial:

- 5 Chorro primario frío (p) por ejemplo oxígeno, rodeado de una abertura anular con simetría rotacional, con chorro secundario caliente (s), por ejemplo gas de combustión al ingresar a un ambiente caliente del horno.

La vía matemática del método numérico es compleja y aquí se describe sólo en forma de principios, para mayor claridad se utiliza la figura 5. La solución, entre otras cosas, se basa en las siguientes ecuaciones:

a) Determinación de los números de Mach convectivos:

Chorro individual (Single-Jet): M_{csp} entre ambiente y chorro primario

10
$$M_{csp} = \frac{M_p \sqrt{\rho_\infty / \rho_p}}{(1 + \sqrt{\rho_\infty / \rho_p}) (\gamma_\infty / \gamma_p)^{1/4}}$$

Chorro coaxial: $M_{c\infty s}$ entre ambiente y chorro secundario, así como M_{csp} entre chorro secundario y chorro primario

$$M_{c\infty s} = \frac{M_s \sqrt{\rho_\infty / \rho_s}}{(1 + \sqrt{\rho_\infty / \rho_s}) (\gamma_\infty / \gamma_s)^{1/4}}, \quad M_{csp} = \frac{M_p \sqrt{\rho_s / \rho_p} (1 - u_s / u_p)}{(1 + \sqrt{\rho_s / \rho_p}) (\gamma_s / \gamma_p)^{1/4}}$$

ρ, u, γ : densidad, velocidad de flujo y exponente isoentrópico

∞, s, p : ambiente, chorro secundario y chorro primario

- 15 M: Número de Mach del flujo

b) Determinación del parámetro de funcionamiento óptimo para el chorro coaxial, válido para el chorro primario frío, el chorro secundario caliente y el ambiente caliente.

Nuevo criterio de optimización: $M_{c\infty s} = M_{csp}$

Número de Mach del chorro secundario:

20
$$M_s = \frac{u_s}{a_s} = \frac{u_p}{a_s} \left[1 + \frac{a_p}{a_s} \left(\frac{1 + \sqrt{\rho_p / \rho_s}}{1 + \sqrt{\rho_s / \rho_\infty}} \right) \left(\frac{\gamma_p \gamma_\infty}{\gamma_s^2} \right)^{-1/4} \right]^{-1}$$

Por ejemplo simplificación para $\gamma = \text{const.}$

$$M_{c\infty s} = \frac{u_s}{a_s + a_\infty} = M_{csp} = \frac{u_p - u_s}{a_p + a_s}, \quad M_s = \frac{u_s}{a_s} = \frac{u_p (a_s + a_\infty)}{a_s (a_p + 2a_s + a_\infty)}$$

c) Determinación del nuevo modelo de correlación para el chorro coaxial, válido para el chorro primario frío, el chorro secundario caliente y el ambiente caliente.

- 25 Funciones del número de Mach convectivo:

$$F_{sp} = M_{csp}^2, \quad F_{ps} = M_{csp}^2, \quad F_{s\infty} = M_{c\infty s}^2,$$

Funciones de conmutación y de geometría:

$$F_{\alpha sp} = \alpha \left(\frac{F_{sp} F_{\alpha sp}}{\beta F_{sp} + F_{\alpha sp}} \right), \quad F_p = 1 + \frac{F_{\alpha sp}}{F_{sp} F_{\alpha sp}} (F_{sp} - F_{\alpha sp}), \quad F_h = 1 + \sigma (H_s / D_p),$$

Función de la longitud del chorro:

$$\frac{L_p}{L_{single}} = \phi F_h \cdot \exp[-\theta \cdot \text{abs}(F_p)]$$

- 5 $\alpha, \beta, \sigma, \phi, \theta$: Las constantes deben determinarse de manera que L_p como máximo es L_{single} longitud del chorro supersónico para el chorro individual

L_p : Longitud del chorro supersónico para el chorro coaxial

d) Modo de inyector:

- 10 Para generar el gas envolvente caliente combustible (CH₄, LPG, etc.) se mezcla con aire y se quema internamente dentro del inyector. El gas residual caliente, quemado, forma el chorro envolvente caliente. El algoritmo, en función del tipo de combustible, calcula la cantidad necesaria de combustible y aire para alcanzar a) la cantidad óptima de gas residual en el caso de b) la temperatura óptima del gas residual.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{air, st}}$$

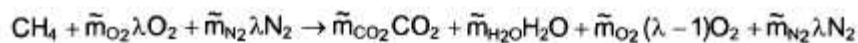
Coeficiente estequiométrico:

\dot{m}_{air} : flujo másico del aire

- 15 $\dot{m}_{air, st}$: flujo másico del aire en el caso de una combustión estequiométrica

Ejemplo: combustible CH₄

Balance de masa:



m : Relación de masa molar del componente

- 20 Balance energético:

$$\begin{aligned} -\dot{Q}_v / \dot{m}_{CH_4} &= \tilde{m}_{CO_2} c_{p, CO_2} \Big|_{T_0}^{T_s} (T_s - T_0) + \tilde{m}_{H_2O} c_{p, H_2O} \Big|_{T_0}^{T_s} (T_s - T_0) \\ &+ \tilde{m}_{O_2} (\lambda - 1) c_{p, O_2} \Big|_{T_0}^{T_s} (T_s - T_0) + \tilde{m}_{N_2} \lambda c_{p, N_2} \Big|_{T_0}^{T_s} (T_s - T_0) \\ &- c_{p, CH_4} \Big|_{T_0}^{T_1} (T_1 - T_0) - \tilde{m}_{O_2} \lambda c_{p, O_2} \Big|_{T_0}^{T_2} (T_2 - T_0) \\ &- \tilde{m}_{N_2} \lambda c_{p, N_2} \Big|_{T_0}^{T_2} (T_2 - T_0) - \Delta h_u^{CH_4} (T_0) \end{aligned}$$

c_p : capacidad térmica específica

$\Delta_h u$: poder calorífico

Q_v : pérdida de calor

T_0 : temperatura de referencia

T_1 : temperatura de entrada estática del combustible

5 T_2 : temperatura de entrada estática del aire

T_s : temperatura de salida estática del chorro secundario

Flujo másico del combustible y del chorro secundario:

$$\lambda \rightarrow \dot{m}_{CH_4} = \tilde{m}_{O_2air} / (\tilde{m}_{O_2} \lambda) \dot{m}_{air}, \quad \dot{m}_s = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{CH_4}$$

10

e) Modo de quemador:

Ejemplo: combustible CH_4 :

$$\dot{V}_{CH_4burn} = \frac{Power_{burn}}{\Delta h_u^{CH_4}}, \quad \dot{m}_{CH_4burn} = \dot{V}_{CH_4burn} \rho_{CH_4burn}^N$$

$$\dot{m}_{O_2burn} = 2M_{O_2} / M_{CH_4} \dot{m}_{CH_4burn}, \quad \dot{V}_{O_2burn} = \frac{\dot{m}_{O_2burn}}{\rho_{O_2burn}^N}$$

Power: potencia

15 V: flujo volumétrico

ρ_N : densidad estándar

M_Y : masa molar del componente Y

20 f) Con los parámetros de flujo calculados del chorro secundario y para valores dados de R_{s0} , R_1 , R_2 y α , la boquilla coaxial externa se determina a través de funciones especiales del contorno (arcos de círculo, rectas, etc.), de manera que en el canal de gas envolvente se produce un flujo subsónico lo menos perturbado posible. Una característica esencial del canal de gas envolvente es que el gas secundario caliente sale de forma horizontal desde la boquilla de gas envolvente, es decir, de forma paralela con respecto al gas primario.

A continuación, a modo de ejemplo, se presenta un diseño típico del inyector. Las condiciones de contorno que se predeterminan para el cálculo, en este caso son:

25 Modo de inyector

Oxígeno - Presión de entrada en la boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar

Flujo volumétrico de oxígeno de la boquilla primaria: $V_0 = 50$ Nm³/min

Presión del ambiente en el horno de arco eléctrico: $p_\infty = 1.013$ bar

Modo de quemador

Potencia del quemador: P = 6.00 MW

Como resultado del cálculo se obtiene un inyector optimizado en cuanto a la técnica de flujo, compuesto por una boquilla primaria central y una boquilla de gas envolvente o boquilla anular, circundante.

5 La figura 6 muestra la geometría del inyector para el modo de inyector o quemador mencionado; la tabla 1 contiene las coordenadas axiales y radiales correspondientes de la boquilla coaxial. Puede observarse que el gas primario y el gas secundario circulan paralelamente uno con respecto a otro. Esa es la característica esencial del modelo de chorro coaxial deducido matemáticamente.

10 La tabla 2 muestra los valores característicos de flujo y termodinámicos calculados para esa boquilla. En comparación con la boquilla de chorro individual, la longitud L_p del área supersónica aumenta en la boquilla coaxial aproximadamente en un 45 %.

Resulta de ello una boquilla primaria y una boquilla secundaria que están definidas en su respectivo caso de diseño, a través del siguiente grupo de formas de la boquilla:

Inyector con chorro coaxial, por ejemplo para un horno de arco eléctrico (EAF)

15 • Boquilla primaria

Gas: Oxígeno
 Presión de entrada en la boquilla primaria: $p_0 = 4 - 12$ bar
 Flujo volumétrico de entrada: $V_0 = 20 - 100$ Nm³/min

20

• Boquilla secundaria

Gas: CH₄, LPG
 Número de Mach en la salida de la boquilla: $M_s = 0,3 - 0,7$
 Temperatura en la salida de la boquilla: $T_s = 800 - 1200$ K
 Altura de la abertura en la salida de la boquilla: $H_s = 4 - 10$ mm

25

De ello resulta el siguiente grupo de formas de la boquilla coaxial (para $p_\infty = 1.013$ bar = const.):

Definidos para el caso de diseño:

Boquilla primaria *)				Boquilla secundaria			
Presión p_0 [bar]	Flujo volumétrico V_0 [Nm ³ /min]	Radio en la sección transversal más estrecha r^* [mm]	Radio de salida r_1 [mm]	Longitud de la boquilla l [mm]	Número de Mach M_s [-]	Temperatura T_s [K]	Altura de abertura coaxial H_s [mm]
4	20	12,0	14,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
4	200	39	44,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3

30

(continuación)

Boquilla primaria *)				Boquilla secundaria			
Presión p_0 [bar]	Flujo volumétrico V_0 [Nm ³ /min]	Radio en la sección transversal más estrecha r^* [mm]	Radio de salida r_1 [mm]	Longitud de la boquilla l [mm]	Número de Mach M_s [-]	Temperatura T_s [K]	Altura de abertura coaxial H_s [mm]
14	20	6	10,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
14	200	21	33,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3

*) Denominaciones véase la figura 3a

Tabla 1: Coordenadas axiales (x) y coordenadas radiales (r) de la boquilla coaxial representada en la figura 6, la cual fue diseñada con el modelo nuevo de chorro coaxial

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar					
Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min					
Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar					
Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-77,39	38,00	-77,39	62,00	-77,39	20,02
-76,59	38,00	-76,59	62,00	-76,59	20,03
-75,79	38,00	-75,79	62,00	-75,79	20,03
-74,98	38,00	-74,98	62,00	-74,98	20,02
-74,18	38,00	-74,18	62,00	-74,18	20,00
-73,38	38,00	-73,38	62,00	-73,38	19,99
-72,58	38,00	-72,58	62,00	-72,58	19,96
-71,78	38,00	-71,78	62,00	-71,78	19,93
-70,98	38,00	-70,98	62,00	-70,98	19,90
-70,17	38,00	-70,17	62,00	-70,17	19,87
-69,37	38,00	-69,37	62,00	-69,37	19,83
-68,57	38,00	-68,57	62,00	-68,57	19,78
-67,77	38,00	-67,77	62,00	-67,77	19,73
-66,97	38,00	-66,97	62,00	-66,97	19,68
-66,17	38,00	-66,17	62,00	-66,17	19,62
-65,36	38,00	-65,36	62,00	-65,36	19,56
-64,56	38,00	-64,56	62,00	-64,56	19,49
-63,76	38,00	-63,76	62,00	-63,76	19,42
-62,96	38,00	-62,96	62,00	-62,96	19,35

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-62,16	38,00	-62,16	62,00	-62,16	19,27
-61,36	38,00	-61,36	62,00	-61,36	19,19
-60,56	38,00	-60,56	62,00	-60,56	19,10
-59,75	38,00	-59,75	62,00	-59,75	19,01
-58,95	38,00	-58,95	62,00	-58,95	18,92
-58,15	38,00	-58,15	62,00	-58,15	18,82
-57,35	38,00	-57,35	62,00	-57,35	18,71
-56,55	38,00	-56,55	62,00	-56,55	18,61
-55,75	38,00	-55,75	62,00	-55,75	18,49
-54,94	38,00	-54,94	62,00	-54,94	18,38
-54,14	38,00	-54,14	62,00	-54,14	18,26
-53,34	38,00	-53,34	62,00	-53,34	18,13
-52,54	38,00	-52,54	62,00	-52,54	18,01
-51,74	38,00	-51,74	62,00	-51,74	17,87
-50,94	38,00	-50,94	62,00	-50,94	17,73
-50,13	38,00	-50,13	62,00	-50,13	17,60
-49,33	38,00	-49,33	62,00	-49,33	17,46
-48,53	38,00	-48,53	62,00	-48,53	17,32
-47,73	38,00	-47,73	62,00	-47,73	17,18
-46,93	38,00	-46,93	62,00	-46,93	17,05
-46,13	38,00	-46,13	62,00	-46,13	16,91
-45,33	38,00	-45,33	62,00	-45,33	16,77
-44,52	38,00	-44,52	62,00	-44,52	16,63
-43,72	38,00	-43,72	62,00	-43,72	16,49
-42,92	38,00	-42,92	62,00	-42,92	16,35
-42,12	38,00	-42,12	62,00	-42,12	16,22
-41,32	38,00	-41,32	62,00	-41,32	16,08
-40,52	38,00	-40,52	62,00	-40,52	15,95
-39,71	38,00	-39,71	62,00	-39,71	15,82
-38,91	38,00	-38,91	62,00	-38,91	15,70
-38,11	38,00	-38,11	62,00	-38,11	15,57

Tabla 1 (continuación)

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-37,31	38,00	-37,31	62,00	-37,31	15,45
-36,51	38,00	-36,51	62,00	-36,51	15,33
-35,71	38,00	-35,71	62,00	-35,71	15,22
-34,90	38,00	-34,90	62,00	-34,90	15,10
-34,10	38,00	-34,10	62,00	-34,10	14,99
-33,30	38,00	-33,30	62,00	-33,30	14,89
-32,50	38,00	-32,50	62,00	-32,50	14,78
-31,70	38,00	-31,70	62,00	-31,70	14,68
-30,90	38,00	-30,90	62,00	-30,90	14,58
-30,10	38,00	-30,10	62,00	-30,10	14,48
-29,29	38,00	-29,29	62,00	-29,29	14,39
-28,49	38,00	-28,49	62,00	-28,49	14,30
-27,69	38,00	-27,69	62,00	-27,69	14,21
-26,89	38,00	-26,89	62,00	-26,89	14,12
-26,09	38,00	-26,09	62,00	-26,09	14,04
-25,29	38,00	-25,29	62,00	-25,29	13,96
-24,48	38,00	-24,48	62,00	-24,48	13,88
-23,68	38,00	-23,68	62,00	-23,68	13,80
-22,88	38,00	-22,88	62,00	-22,88	13,73
-22,08	38,00	-22,08	62,00	-22,08	13,66
-21,28	38,00	-21,28	62,00	-21,28	13,59
-20,48	38,00	-20,48	62,00	-20,48	13,52
-19,67	38,00	-19,67	62,00	-19,67	13,46
-18,87	38,00	-18,87	62,00	-18,87	13,40
-18,07	38,00	-18,07	62,00	-18,07	13,34
-17,27	38,00	-17,27	62,00	-17,27	13,29
-16,47	38,00	-16,47	62,00	-16,47	13,24
-15,67	38,00	-15,67	62,00	-15,67	13,19
-14,87	38,00	-14,87	62,00	-14,87	13,14
-14,06	38,00	-14,06	62,00	-14,06	13,10
-13,26	38,00	-13,26	62,00	-13,26	13,05

Tabla 1 (continuación)

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-12,46	38,00	-12,46	62,00	-12,46	13,02
-11,66	38,00	-11,66	62,00	-11,66	12,98
-10,86	38,00	-10,86	62,00	-10,86	12,95
-10,06	38,00	-10,06	62,00	-10,06	12,91
-9,25	38,00	-9,25	62,00	-9,25	12,89
-8,45	38,00	-8,45	62,00	-8,45	12,86
-7,65	38,00	-7,65	62,00	-7,65	12,84
-6,85	38,00	-6,85	62,00	-6,85	12,82
-6,05	38,00	-6,05	62,00	-6,05	12,80
-5,25	38,00	-5,25	62,00	-5,25	12,78
-4,44	38,00	-4,44	62,00	-4,44	12,77
-3,64	38,00	-3,64	62,00	-3,64	12,76
-2,84	38,00	-2,84	62,00	-2,84	12,75
-2,04	38,00	-2,04	62,00	-2,04	12,75
-1,24	38,00	-1,24	62,00	-1,24	12,74
-0,44	38,00	-0,44	62,00	-0,44	12,74
0,36	38,00	0,36	62,00	0,36	12,75
1,17	38,00	1,17	62,00	1,17	12,75
1,97	38,00	1,97	62,00	1,97	12,76
2,77	38,00	2,77	62,00	2,77	12,77
3,57	38,00	3,57	62,00	3,57	12,79
4,37	38,00	4,37	62,00	4,37	12,80
5,17	38,00	5,17	62,00	5,17	12,82
5,98	38,00	5,98	62,00	5,98	12,85
6,78	38,00	6,78	62,00	6,78	12,87
7,58	38,00	7,58	62,00	7,58	12,90
8,38	38,00	8,38	62,00	8,38	12,93
9,18	38,00	9,18	62,00	9,18	12,96
9,98	38,00	9,98	62,00	9,98	13,00
10,79	38,00	10,79	62,00	10,79	13,03
11,59	38,00	11,59	62,00	11,59	13,08

Tabla 1 (continuación)

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
12,39	38,00	12,39	62,00	12,39	13,12
13,19	38,00	13,19	62,00	13,19	13,17
13,99	38,00	13,99	62,00	13,99	13,21
14,79	38,00	14,79	62,00	14,79	13,27
15,59	38,00	15,59	62,00	15,59	13,32
16,40	38,00	16,40	62,00	16,40	13,38
17,20	38,00	17,20	62,00	17,20	13,44
18,00	38,00	18,00	62,00	18,00	13,50
18,80	38,00	18,80	62,00	18,80	13,56
19,60	38,00	19,60	62,00	19,60	13,63
20,40	38,00	20,40	62,00	20,40	13,70
21,21	38,00	21,21	61,98	21,21	13,78
22,01	38,00	22,01	61,96	22,01	13,85
22,81	38,00	22,81	61,92	22,81	13,93
23,61	38,00	23,61	61,86	23,61	14,01
24,41	38,00	24,41	61,80	24,41	14,10
25,21	38,00	25,21	61,72	25,21	14,18
26,02	38,00	26,02	61,63	26,02	14,27
26,82	38,00	26,82	61,52	26,82	14,37
27,62	38,00	27,62	61,40	27,62	14,46
28,42	38,00	28,42	61,27	28,42	14,56
29,22	38,00	29,22	61,13	29,22	14,65
30,02	38,00	30,02	60,97	30,02	14,75
30,82	38,00	30,82	60,80	30,82	14,84
31,63	38,00	31,63	60,61	31,63	14,94
32,43	38,00	32,43	60,41	32,43	15,04
33,23	38,00	33,23	60,20	33,23	15,13
34,03	38,00	34,03	59,97	34,03	15,22
34,83	38,00	34,83	59,73	34,83	15,32
35,63	38,00	35,63	59,47	35,63	15,41
36,44	37,99	36,44	59,20	36,44	15,50

Tabla 1 (continuación)

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
37,24	37,96	37,24	58,91	37,24	15,59
38,04	37,92	38,04	58,60	38,04	15,68
38,84	37,86	38,84	58,28	38,84	15,76
39,64	37,78	39,64	57,95	39,64	15,85
40,44	37,69	40,44	57,60	40,44	15,93
41,25	37,58	41,25	57,23	41,25	16,02
42,05	37,45	42,05	56,84	42,05	16,10
42,85	37,31	42,85	56,44	42,85	16,18
43,65	37,15	43,65	56,01	43,65	16,26
44,45	36,97	44,45	55,57	44,45	16,33
45,25	36,78	45,25	55,11	45,25	16,41
46,05	36,57	46,05	54,63	46,05	16,48
46,86	36,34	46,86	54,13	46,86	16,55
47,66	36,09	47,66	53,60	47,66	16,62
48,46	35,83	48,46	53,06	48,46	16,69
49,26	35,54	49,26	52,49	49,26	16,76
50,06	35,24	50,06	51,90	50,06	16,82
50,86	34,91	50,86	51,28	50,86	16,88
51,67	34,57	51,67	50,63	51,67	16,94
52,47	34,20	52,47	49,96	52,47	17,00
53,27	33,81	53,27	49,26	53,27	17,06
54,07	33,40	54,07	48,53	54,07	17,12
54,87	32,97	54,87	47,76	54,87	17,17
55,67	32,51	55,67	46,96	55,67	17,23
56,48	32,05	56,48	46,16	56,48	17,28
57,28	31,59	57,28	45,36	57,28	17,33
58,08	31,13	58,08	44,56	58,08	17,37
58,88	30,66	58,88	43,76	58,88	17,42
59,68	30,20	59,68	42,96	59,68	17,46
60,48	29,74	60,48	42,15	60,48	17,51
61,28	29,29	61,28	41,35	61,28	17,55

Tabla 1 (continuación)

ES 2 638 642 T3

Boquilla del inyector (según la figura 6)					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
62,09	28,86	62,09	40,55	62,09	17,59
62,89	28,45	62,89	39,75	62,89	17,62
63,69	28,05	63,69	38,95	63,69	17,66
64,49	27,68	64,49	38,15	64,49	17,70
65,29	27,32	65,29	37,41	65,29	17,73
66,09	26,97	66,09	36,71	66,09	17,76
66,90	26,65	66,90	36,06	66,90	17,79
67,70	26,34	67,70	35,46	67,70	17,82
68,50	26,04	68,50	34,90	68,50	17,85
69,30	25,77	69,30	34,37	69,30	17,87
70,10	25,50	70,10	33,88	70,10	17,89
70,90	25,25	70,90	33,43	70,90	17,92
71,71	25,02	71,71	33,00	71,71	17,94
72,51	24,80	72,51	32,61	72,51	17,96
73,31	24,59	73,31	32,25	73,31	17,98
74,11	24,40	74,11	31,91	74,11	18,00
74,91	24,22	74,91	31,60	74,91	18,01
75,71	24,06	75,71	31,32	75,71	18,03
76,51	23,91	76,51	31,06	76,51	18,04
77,32	23,77	77,32	30,82	77,32	18,05
78,12	23,65	78,12	30,61	78,12	18,06
78,92	23,54	78,92	30,42	78,92	18,07
79,72	23,44	79,72	30,26	79,72	18,08
80,52	23,36	80,52	30,12	80,52	18,09
81,32	23,29	81,32	30,00	81,32	18,10
82,13	23,23	82,13	29,90	82,13	18,11
82,93	23,18	82,93	29,83	82,93	18,11
83,73	23,15	83,73	29,77	83,73	18,12
84,53	23,13	84,53	29,74	84,53	18,12
85,33	23,13	85,33	29,73	85,33	18,13

Tabla 2: Condiciones de contorno de flujo y termodinámicas para la boquilla coaxial mostrada en la figura 6 y en la tabla 1, la cual fue diseñada con el nuevo modelo de chorro coaxial.

<p>Modo de inyector: Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $V_0 = 50$ Nm³/min Presión del ambiente: $p_\infty = 1.013$ bar</p> <p>Modo de quemador: Potencia del quemador: $P = 6.00$ MW</p>											
Modo de inyector						Modo de quemador					
Chorro primario			Chorro secundario			Chorro primario			Chorro secundario		
M_p	-	2,149	M_s	-	0,482	P	MW	6,00			
T_p	K	152.9	T_s	K	1100,0	\dot{V}_{p,O_2}	Nm ³ /h	1205 .6	\dot{V}_{s,CH_4}	Nm ³ /h	601, 9
\dot{V}_p	Nm ³ /h	3000	H_s	m	0,00664	\dot{m}_{p,O_2}	kg/s	0.47 86	\dot{m}_{p,CH_4}	kg/s	0,1200
up	m/s	506.2	\dot{V}_s	Nm ³ /h	311,0						
P_p	Pa	101325	\dot{V}_{s,CH_4}	Nm ³ /h	11,0						
			$\dot{V}_{s,air}$	Nm ³ /h	300						
			$T_{0,s}$	K	1144,7						
			U_s	m/s	317,7						
			P_s	Pa	101325						
			\dot{m}_s	Kg/s	0,1099						
			\dot{m}_{s,CH_4}	Kg/s	0,0022						
			$\dot{m}_{s,air}$	Kg/s	0,1077						
			$P_{0,s}$	Pa	118162						
Longitud supersónica:											
$L_{p,single}^* = 1.107$ m , $L_{p,coaxial}^* = 1.608$ m											

Lista de referencias:

- 5 1-1 Líneas de agua de refrigeración
- 1-2 Canal de agua de refrigeración
- 1-3 Boquilla de Laval retraída

- 1-4 Quemador/boquilla del inyector
- 1-5 Generador de llama
- 1-6 Línea de aire
- 1-7 Línea de gas natural
- 5 1-8 Línea de oxígeno
- 1-9 Conector rápido
- 2a-1 Generador de gas caliente
- 2a-2 aire comprimido
- 2a-3 Cubierta caliente Chorro (envolvente)
- 10 2b-1 Llama
- 2c-1 Generador de gas caliente
- 2c-2 aire comprimido
- 2c-3 Chorro de cubierta caliente
- 2c-4 Chorro supersónico central
- 15 3a-1 Ambiente del horno caliente
- 3a-2 Subsónico
- 3a-3 Supersónico (L_p)
- 3a-4 Núcleo del chorro
- 3a-5 Gas primario (p)
- 20 3b-1 Boquilla de Laval contorno interno
- 3b-2 Abertura coaxial contorno externo
- 3b-3 Abertura coaxial contorno interno
- 3b-4 Gas secundario (s)
- 3b-5 Gas primario (p)
- 25 4-1 Pared de la boquilla (Cu)
- 4-2 Abertura coaxial contorno externo
- 4-3 Gas secundario (s)
- 4-4 Pared de la boquilla (Cu)
- 4-5 Abertura coaxial contorno interno
- 30 4-6 Gas primario (p)
- 4-7 Boquilla de Laval contorno interno

4-8 Eje de simetría

4-9 Ambiente (∞)

5-1 Chorro secundario caliente (s)

5-2 Chorro primario frío (p)

5 5-3 Chorro secundario caliente (s)

5-4 Ambiente caliente (∞)

6-1 Abertura coaxial exterior

6-2 Abertura coaxial interior

6-3 Boquilla de Laval interior

10

REIVINDICACIONES

1. Inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria, donde la boquilla primaria presenta una sección convergente y una sección divergente que limitan una con otra en un radio de la sección transversal r^* más estrecha, donde en la boquilla primaria la relación de una longitud de la boquilla l con respecto al radio en la sección transversal r^* más estrecha, por lo tanto l/r^* , se ubica entre 2,1 y 11,6, preferentemente entre 2,1 y 8,3, de manera más preferente entre 2,1 y 5,4, de manera más preferente entre 2,1 y 5,0, y en particular presenta valores de 11,6, 8,3, 5,4, 5,0, 4,8, 4,2, 4,1, 3,6, 3,3, 3,1 ó 2,1, caracterizado porque la boquilla primaria y la boquilla secundaria están definidas en su respectivo caso de diseño a través del siguiente grupo de formas de la boquilla:

Boquilla primaria				Boquilla secundaria			
Presión p_0 [bar]	Flujo volumétrico V_0 [Nm ³ /min]	Radio en la sección transversal más estrecha r^* [mm]	Radio de salida r_1 [mm]	Longitud de la boquilla l [mm]	Número de Mach M_s [-]	Temperatura T_s [K]	Altura de abertura coaxial H_s [mm]
4	20	12,0	14,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
4	200	39	44,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
14	20	6	10,0	50 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3
14	200	21	33,0	160 ± 20	0,5 ± 0,2	1000 ± 200	7 ± 3

2. Inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria, donde la boquilla primaria presenta una sección convergente y una sección divergente que limitan una con otra en un radio de la sección transversal r^* más estrecha, caracterizado porque el contorno interno y el contorno externo de la boquilla secundaria están determinados numéricamente de manera que el número de Mach convectivo $M_{c\infty s}$ entre el ambiente (∞) y el chorro secundario (s) generado a través de la boquilla secundaria es igual al número de Mach convectivo M_{csp} entre el chorro secundario (s) y el chorro primario (p) generado a través de la boquilla primaria:

$$M_{c\infty s} = M_{csp}$$

donde la determinación numérica presenta los pasos:

a) Determinación de los números de Mach convectivos:

Chorro individual (Single-Jet): $M_{c\infty p}$ entre ambiente y chorro primario

Chorro coaxial: $M_{c\infty s}$ entre ambiente y chorro secundario, así como M_{csp} entre chorro secundario y chorro primario

$$M_{c\infty s} = \frac{M_s \sqrt{\rho_0 / \rho_s}}{(1 + \sqrt{\rho_0 / \rho_s})(\gamma_s / \gamma_0)^{1/4}}, \quad M_{csp} = \frac{M_p \sqrt{\rho_s / \rho_p} (1 - u_s / u_p)}{(1 + \sqrt{\rho_s / \rho_p})(\gamma_s / \gamma_p)^{1/4}}$$

b) Determinación del parámetro de funcionamiento óptimo para el chorro coaxial, válido para el chorro primario frío, el chorro secundario caliente y el ambiente caliente. Nuevo criterio de optimización:

$$M_{c\infty s} = M_{csp}$$

Número de Mach del chorro secundario:

$$M_s = \frac{u_s}{a_s} = \frac{u_p}{a_s} \left[1 + \frac{a_p}{a_s} \left(\frac{1 + \sqrt{\rho_p / \rho_s}}{1 + \sqrt{\rho_s / \rho_\infty}} \right) \left(\frac{\gamma_p \gamma_\infty}{\gamma_s^2} \right)^{-1/4} \right]^{-1}$$

c) Determinación del nuevo modelo de correlación para el chorro coaxial, válido para el chorro primario frío, el chorro secundario caliente y el ambiente caliente.

5 Funciones del número de Mach convectivo:

$$F_{wsp} = M_{cosp}^2, \quad F_{sp} = M_{csp}^2, \quad F_{cs} = M_{cws}^2,$$

Funciones de conmutación y de geometría:

$$F_{wsp} = \alpha \left(\frac{F_{sp} F_{cs}}{\beta F_{sp} + F_{cs}} \right), \quad F_p = 1 + \frac{F_{wsp}}{F_{sp} F_{wsp}} (F_{sp} - F_{wsp}), \quad F_n = 1 + \sigma (H_s / D_p),$$

Función de la longitud del chorro:

$$\frac{L_p}{L_{single}} = \varphi F_n \cdot \exp[-\theta \cdot \text{abs}(F_p)]$$

- 10
3. Inyector según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la boquilla primaria está determinada para la utilización con oxígeno y la boquilla secundaria está determinada para la utilización con CH₄ o LPG.
 4. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la boquilla secundaria está diseñada como boquilla subsónica.
 - 15 5. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se proporciona un generador de gas caliente acoplado a la boquilla secundaria, el cual, mediante la boquilla secundaria, suministra un chorro secundario de gas de combustión caliente.
 6. Inyector según la reivindicación 5, caracterizado porque el generador de gas caliente puede controlarse de manera que se alcanza la cantidad optimizada de gas residual para el diseño de la boquilla primaria y de la boquilla secundaria, en el caso de una temperatura optimizada del gas residual.
 - 20 7. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el contorno interno de la boquilla primaria corresponde al contorno determinado por vías numéricas con un método característico modificado.
 8. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el contorno interno de la boquilla primaria corresponde al contorno determinado, el cual se determina a través de la solución numérica de las ecuaciones diferenciales dinámicas del gas parciales, en donde el flujo de gas estacionario, isoentrópico, con simetría rotacional, se representa mediante ecuaciones características espacialmente discretizadas, considerando condiciones de compatibilidad correspondientes.
 - 25 9. Inyector según la reivindicación 8, caracterizado porque en la solución de las ecuaciones diferenciales numéricas parciales se considera la influencia de un flujo de capa límite próximo a la pared, sujeto a fricción.
 - 30 10. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque en la boquilla primaria la sección convergente presenta un contorno en forma de campana y la sección divergente presenta un contorno en forma de campana, donde los contornos en forma de campana de la sección convergente y de la sección divergente se fusionan de forma continua en la abertura de la boquilla.
 - 35 11. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la boquilla primaria presenta una parte subsónica convergente y una parte supersónica divergente, y el contorno interno corresponde a un contorno

determinado con un método característico modificado, el cual genera un área supersónica L_p^* prolongada, y la boquilla secundaria, partiendo desde allí, presenta un contorno interno y un contorno externo en una forma que por vías numéricas incluye tanto la geometría total como también las magnitudes térmicas del proceso del gas coaxial, de manera que se prolonga aún más la longitud supersónica L_p^* del chorro primario.

5 12. Inyector según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el mismo puede ser operado en un modo de inyector y en un modo de quemador, donde en el modo de inyector un chorro primario rico en oxígeno, el cual está cubierto por un chorro secundario coaxial con respecto a aquél, puede ser aplicado sobre una masa fundida de metal, y en el modo de quemador CH₄ o LPG puede ser suministrado mediante la boquilla primaria y un gas rico en oxígeno puede ser suministrado mediante la boquilla primaria, de manera que se genera un chorro del
10 combustión.

13. Inyector según la reivindicación 12, caracterizado por los siguientes parámetros de funcionamiento en el modo de inyector y en el modo de quemador:

Modo de inyector: Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar

Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $V_0 = 50$ Nm³/min

15 Presión del ambiente: $p_\infty = 1.013$ bar

Modo de quemador: Potencia del quemador: $P = 6.00$ MW

Modo de inyector						Modo de quemador					
Chorro primario			Chorro secundario			Chorro primario			Chorro secundario		
M_p	-	2,149	M_s	-	0,482	P	MW	6,00			
T_p	K	152,9	T_s	K	1100,0	\dot{V}_{p,O_2}	Nm ³ /h	1205,6	\dot{V}_{s,CH_4}	Nm ³ /h	601,9
\dot{V}_p	Nm ³ /h	3000	H_s	m	0,0066 4	\dot{m}_{p,O_2}	kg/s	0,47 86	\dot{m}_{p,CH_4}	kg/s	0,1200
u_p	m/s	506,2	\dot{V}_s	Nm ³ /h	311,0						
p_p	Pa	10132	\dot{V}_{s,CH_4}	Nm ³ /h	11,0						
		5		H							
			$\dot{V}_{s,air}$	Nm ³ /h	300						
			$T_{0,s}$	K	1144,7						
			U_s	m/s	317,8						
			P_s	Pa	101325						
			\dot{m}_s	Kg/s	0,1099						
			\dot{m}_{s,CH_4}	Kg/s	0,0022						
			$\dot{m}_{s,air}$	Kg/s	0,1077						
			$P_{0,s}$	Pa	118162						
Longitud supersónica:											
$L_{p,single}^* = 1.107$ m , $L_{p,coaxial}^* = 1.608$ m											

20 14. Inyector para ser utilizado en plantas metalúrgicas, en particular en un horno básico de oxígeno (BOF), en un convertidor de descarburización por inyección de oxígeno-argón (AOD) o en un horno de arco eléctrico (EAF), con una boquilla primaria diseñada como boquilla supersónica para soplar un gas rico en oxígeno en una masa fundida de metal y con una boquilla secundaria dispuesta coaxialmente con respecto a la boquilla primaria, para generar un chorro coaxial que rodea el chorro de gas que sale desde la boquilla primaria, donde la boquilla primaria presenta una sección convergente y una sección divergente que limitan una con otra en un radio de la sección transversal r^*

ES 2 638 642 T3

más estrecha, caracterizado por las siguientes dimensiones en el siguiente caso de diseño, para coordenadas axiales (x) y coordenadas radiales (r):

Inyector					
Oxígeno- presión de entrada boquilla primaria: $p_0 = 10$ bar					
Oxígeno- flujo volumétrico boquilla primaria: $v_0 = 50$ Nm ³ /min					
Presión del ambiente: $p_\infty = 1,013$ bar					
Potencia del quemador: $P = 6,00$ MW					
Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-77,39	38,00	-77,39	62,00	-77,39	20,02
-76,59	38,00	-76,59	62,00	-76,59	20,03
-75,79	38,00	-75,79	62,00	-75,79	20,03
-74,98	38,00	-74,98	62,00	-74,98	20,02
-74,18	38,00	-74,18	62,00	-74,18	20,00
-73,38	38,00	-73,38	62,00	-73,38	19,99
-72,58	38,00	-72,58	62,00	-72,58	19,96
-71,78	38,00	-71,78	62,00	-71,78	19,93
-70,98	38,00	-70,98	62,00	-70,98	19,90
-70,17	38,00	-70,17	62,00	-70,17	19,87
-69,37	38,00	-69,37	62,00	-69,37	19,83
-68,57	38,00	-68,57	62,00	-68,57	19,78
-67,77	38,00	-67,77	62,00	-67,77	19,73
-66,97	38,00	-66,97	62,00	-66,97	19,68
-66,17	38,00	-66,17	62,00	-66,17	19,62
-65,36	38,00	-65,36	62,00	-65,36	19,56
-64,56	38,00	-64,56	62,00	-64,56	19,49
-63,76	38,00	-63,76	62,00	-63,76	19,42
-62,96	38,00	-62,96	62,00	-62,96	19,35
-62,16	38,00	-62,16	62,00	-62,16	19,27
-61,36	38,00	-61,36	62,00	-61,36	19,19
-60,56	38,00	-60,56	62,00	-60,56	19,10
-59,75	38,00	-59,75	62,00	-59,75	19,01
-58,95	38,00	-58,95	62,00	-58,95	18,92
-58,15	38,00	-58,15	62,00	-58,15	18,82
-57,35	38,00	-57,35	62,00	-57,35	18,71
-56,55	38,00	-56,55	62,00	-56,55	18,61
-55,75	38,00	-55,75	62,00	-55,75	18,49
-54,94	38,00	-54,94	62,00	-54,94	18,38

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-54,14	38,00	-54,14	62,00	-54,14	18,26
-53,34	38,00	-53,34	62,00	-53,34	18,13
-52,54	38,00	-52,54	62,00	-52,54	18,01
-51,74	38,00	-51,74	62,00	-51,74	17,87
-50,94	38,00	-50,94	62,00	-50,94	17,73
-50,13	38,00	-50,13	62,00	-50,13	17,60
-49,33	38,00	-49,33	62,00	-49,33	17,46
-48,53	38,00	-48,53	62,00	-48,53	17,32
-47,73	38,00	-47,73	62,00	-47,73	17,18
-46,93	38,00	-46,93	62,00	-46,93	17,05
-46,13	38,00	-46,13	62,00	-46,13	16,91
-45,33	38,00	-45,33	62,00	-45,33	16,77
-44,52	38,00	-44,52	62,00	-44,52	16,63
-43,72	38,00	-43,72	62,00	-43,72	16,49
-42,92	38,00	-42,92	62,00	-42,92	16,35
-42,12	38,00	-42,12	62,00	-42,12	16,22
-41,32	38,00	-41,32	62,00	-41,32	16,08
-40,52	38,00	-40,52	62,00	-40,52	15,95
-39,71	38,00	-39,71	62,00	-39,71	15,82
-38,91	38,00	-38,91	62,00	-38,91	15,70
-38,11	38,00	-38,11	62,00	-38,11	15,57
-37,31	38,00	-37,31	62,00	-37,31	15,45
-36,51	38,00	-36,51	62,00	-36,51	15,33
-35,71	38,00	-35,71	62,00	-35,71	15,22
-34,90	38,00	-34,90	62,00	-34,90	15,10
-34,10	38,00	-34,10	62,00	-34,10	14,99
-33,30	38,00	-33,30	62,00	-33,30	14,89
-32,50	38,00	-32,50	62,00	-32,50	14,78
-31,70	38,00	-31,70	62,00	-31,70	14,68
-30,90	38,00	-30,90	62,00	-30,90	14,58
-30,10	38,00	-30,10	62,00	-30,10	14,48
-29,29	38,00	-29,29	62,00	-29,29	14,39
-28,49	38,00	-28,49	62,00	-28,49	14,30
-27,69	38,00	-27,69	62,00	-27,69	14,21
-26,89	38,00	-26,89	62,00	-26,89	14,12
-26,09	38,00	-26,09	62,00	-26,09	14,04

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-25,29	38,00	-25,29	62,00	-25,29	13,96
-24,48	38,00	-24,48	62,00	-24,48	13,88
-23,68	38,00	-23,68	62,00	-23,68	13,80
-22,88	38,00	-22,88	62,00	-22,88	13,73
-22,08	38,00	-22,08	62,00	-22,08	13,66
-21,28	38,00	-21,28	62,00	-21,28	13,59
-20,48	38,00	-20,48	62,00	-20,48	13,52
-19,67	38,00	-19,67	62,00	-19,67	13,46
-18,87	38,00	-18,87	62,00	-18,87	13,40
-18,07	38,00	-18,07	62,00	-18,07	13,34
-17,27	38,00	-17,27	62,00	-17,27	13,29
-16,47	38,00	-16,47	62,00	-16,47	13,24
-15,67	38,00	-15,67	62,00	-15,67	13,19
-14,87	38,00	-14,87	62,00	-14,87	13,14
-14,06	38,00	-14,06	62,00	-14,06	13,10
-13,26	38,00	-13,26	62,00	-13,26	13,05
-12,46	38,00	-12,46	62,00	-12,46	13,02
-11,66	38,00	-11,66	62,00	-11,66	12,98
-10,86	38,00	-10,86	62,00	-10,86	12,95
-10,06	38,00	-10,06	62,00	-10,06	12,91
-9,25	38,00	-9,25	62,00	-9,25	12,89
-8,45	38,00	-8,45	62,00	-8,45	12,86
-7,65	38,00	-7,65	62,00	-7,65	12,84
-6,85	38,00	-6,85	62,00	-6,85	12,82
-6,05	38,00	-6,05	62,00	-6,05	12,80
-5,25	38,00	-5,25	62,00	-5,25	12,78
-4,44	38,00	-4,44	62,00	-4,44	12,77
-3,64	38,00	-3,64	62,00	-3,64	12,76
-2,84	38,00	-2,84	62,00	-2,84	12,75
-2,04	38,00	-2,04	62,00	-2,04	12,75
-1,24	38,00	-1,24	62,00	-1,24	12,74

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
-0,44	38,00	-0,44	62,00	-0,44	12,74
0,36	38,00	0,36	62,00	0,36	12,75
1,17	38,00	1,17	62,00	1,17	12,75
1,97	38,00	1,97	62,00	1,97	12,76
2,77	38,00	2,77	62,00	2,77	12,77
3,57	38,00	3,57	62,00	3,57	12,79
4,37	38,00	4,37	62,00	4,37	12,80
5,17	38,00	5,17	62,00	5,17	12,82
5,98	38,00	5,98	62,00	5,98	12,85
6,78	38,00	6,78	62,00	6,78	12,87
7,58	38,00	7,58	62,00	7,58	12,90
8,38	38,00	8,38	62,00	8,38	12,93
9,18	38,00	9,18	62,00	9,18	12,96
9,98	38,00	9,98	62,00	9,98	13,00
10,79	38,00	10,79	62,00	10,79	13,03
11,59	38,00	11,59	62,00	11,59	13,08
12,39	38,00	12,39	62,00	12,39	13,12
13,19	38,00	13,19	62,00	13,19	13,17
13,99	38,00	13,99	62,00	13,99	13,21
14,79	38,00	14,79	62,00	14,79	13,27
15,59	38,00	15,59	62,00	15,59	13,32
16,40	38,00	16,40	62,00	16,40	13,38
17,20	38,00	17,20	62,00	17,20	13,44
18,00	38,00	18,00	62,00	18,00	13,50
18,80	38,00	18,80	62,00	18,80	13,56
19,60	38,00	19,60	62,00	19,60	13,63
20,40	38,00	20,40	62,00	20,40	13,70
21,21	38,00	21,21	61,98	21,21	13,78
22,01	38,00	22,01	61,96	22,01	13,85
22,81	38,00	22,81	61,92	22,81	13,93
23,61	38,00	23,61	61,86	23,61	14,01

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
24,41	38,00	24,41	61,80	24,41	14,10
25,21	38,00	25,21	61,72	25,21	14,18
26,02	38,00	26,02	61,63	26,02	14,27
26,82	38,00	26,82	61,52	26,82	14,37
27,62	38,00	27,62	61,40	27,62	14,46
28,42	38,00	28,42	61,27	28,42	14,56
29,22	38,00	29,22	61,13	29,22	14,65
30,02	38,00	30,02	60,97	30,02	14,75
30,82	38,00	30,82	60,80	30,82	14,84
31,63	38,00	31,63	60,61	31,63	14,94
32,43	38,00	32,43	60,41	32,43	15,04
33,23	38,00	33,23	60,20	33,23	15,13
34,03	38,00	34,03	59,97	34,03	15,22
34,83	38,00	34,83	59,73	34,83	15,32
35,63	38,00	35,63	59,47	35,63	15,41
36,44	37,99	36,44	59,20	36,44	15,50
37,24	37,96	37,24	58,91	37,24	15,59
38,04	37,92	38,04	58,60	38,04	15,68
38,84	37,86	38,84	58,28	38,84	15,76
39,64	37,78	39,64	57,95	39,64	15,85
40,44	37,69	40,44	57,60	40,44	15,93
41,25	37,58	41,25	57,23	41,25	16,02
42,05	37,45	42,05	56,84	42,05	16,10
42,85	37,31	42,85	56,44	42,85	16,18
43,65	37,15	43,65	56,01	43,65	16,26
44,45	36,97	44,45	55,57	44,45	16,33
45,25	36,78	45,25	55,11	45,25	16,41
46,05	36,57	46,05	54,63	46,05	16,48
46,86	36,34	46,86	54,13	46,86	16,55
47,66	36,09	47,66	53,60	47,66	16,62
48,46	35,83	48,46	53,06	48,46	16,69
49,26	35,54	49,26	52,49	49,26	16,76
50,06	35,24	50,06	51,90	50,06	16,82
50,86	34,91	50,86	51,28	50,86	16,88
51,67	34,57	51,67	50,63	51,67	16,94
52,47	34,20	52,47	49,96	52,47	17,00

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
53,27	33,81	53,27	49,26	53,27	17,06
54,07	33,40	54,07	48,53	54,07	17,12
54,87	32,97	54,87	47,76	54,87	17,17
55,67	32,51	55,67	46,96	55,67	17,23
56,48	32,05	56,48	46,16	56,48	17,28
57,28	31,59	57,28	45,36	57,28	17,33
58,08	31,13	58,08	44,56	58,08	17,37
58,88	30,66	58,88	43,76	58,88	17,42
59,68	30,20	59,68	42,96	59,68	17,46
60,48	29,74	60,48	42,15	60,48	17,51
61,28	29,29	61,28	41,35	61,28	17,55
62,09	28,86	62,09	40,55	62,09	17,59
62,89	28,45	62,89	39,75	62,89	17,62
63,69	28,05	63,69	38,95	63,69	17,66
64,49	27,68	64,49	38,15	64,49	17,70
65,29	27,32	65,29	37,41	65,29	17,73
66,09	26,97	66,09	36,71	66,09	17,76
66,90	26,65	66,90	36,06	66,90	17,79
67,70	26,34	67,70	35,46	67,70	17,82
68,50	26,04	68,50	34,90	68,50	17,85
69,30	25,77	69,30	34,37	69,30	17,87
70,10	25,50	70,10	33,88	70,10	17,89
70,90	25,25	70,90	33,43	70,90	17,92
71,71	25,02	71,71	33,00	71,71	17,94
72,51	24,80	72,51	32,61	72,51	17,96
73,31	24,59	73,31	32,25	73,31	17,98
74,11	24,40	74,11	31,91	74,11	18,00
74,91	24,22	74,91	31,60	74,91	18,01
75,71	24,06	75,71	31,32	75,71	18,03
76,51	23,91	76,51	31,06	76,51	18,04
77,32	23,77	77,32	30,82	77,32	18,05
78,12	23,65	78,12	30,61	78,12	18,06
78,92	23,54	78,92	30,42	78,92	18,07
79,72	23,44	79,72	30,26	79,72	18,08
80,52	23,36	80,52	30,12	80,52	18,09
81,32	23,29	81,32	30,00	81,32	18,10

ES 2 638 642 T3

(continuación)

Boquilla coaxial Contorno externo		Boquilla coaxial Contorno interno		Boquilla primaria Contorno interno	
x en mm	r en mm	x en mm	r en mm	x en mm	r en mm
82,13	23,23	82,13	29,90	82,13	18,11
82,93	23,18	82,93	29,83	82,93	18,11
83,73	23,15	83,73	29,77	83,73	18,12
84,53	23,13	84,53	29,74	84,53	18,12
85,33	23,13	85,33	29,73	85,33	18,13

15. Inyector según la reivindicación 14, de manera que el contorno interno de la boquilla primaria corresponde al contorno determinado por vías numéricas con un método característico modificado.

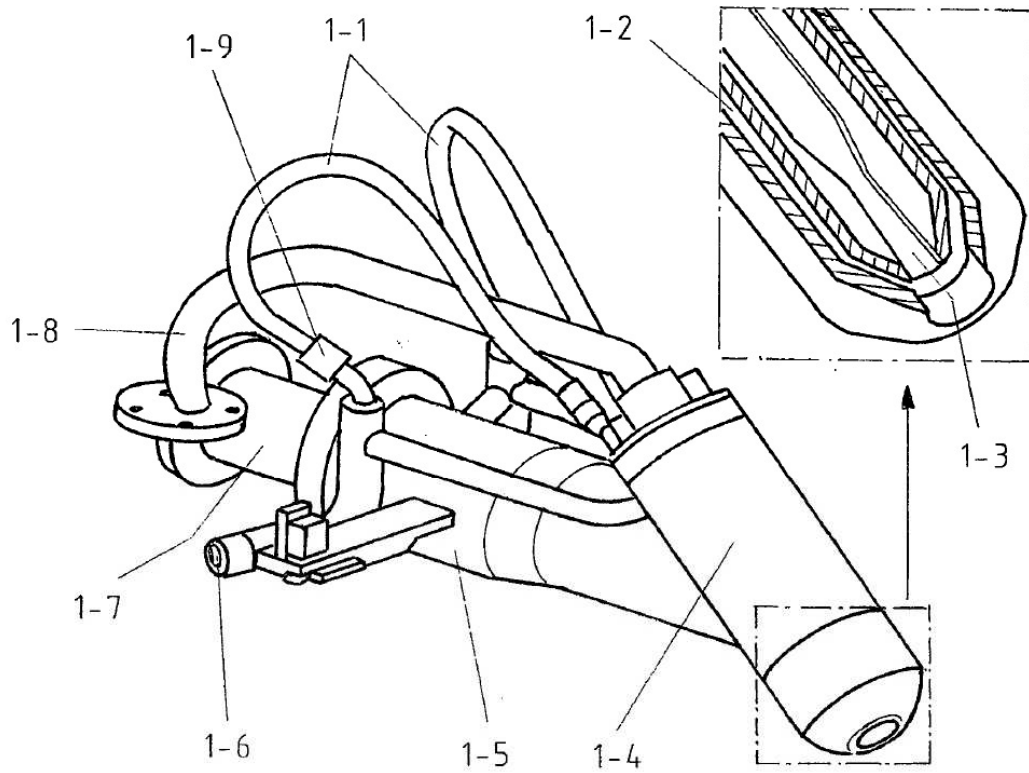


Figura 1

Figura 2c

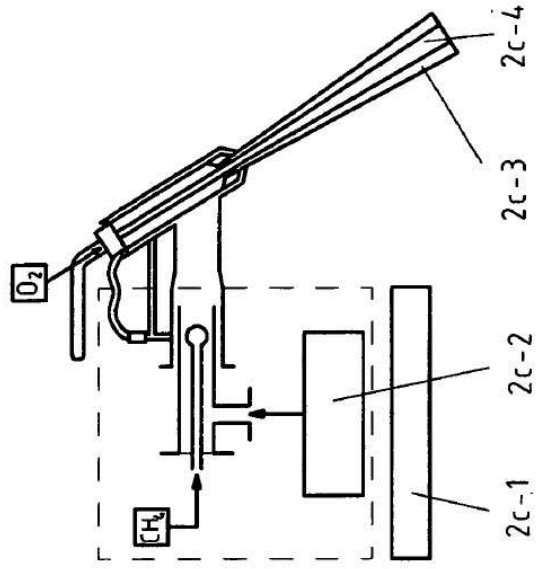


Figura 2b

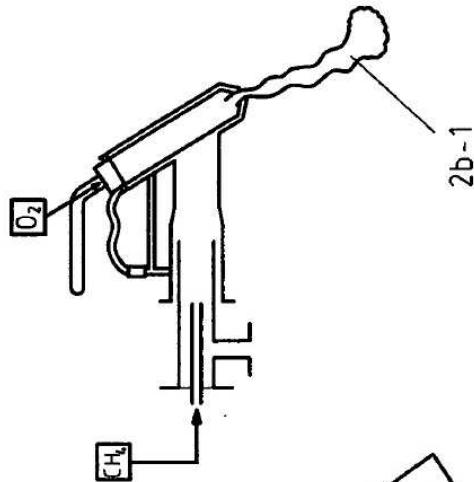


Figura 2a

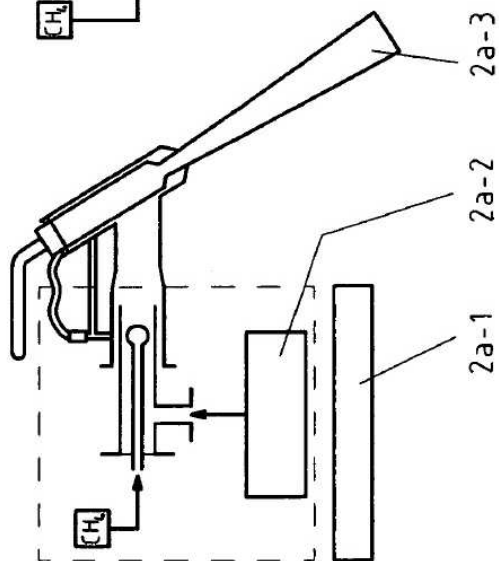


Figura 3a

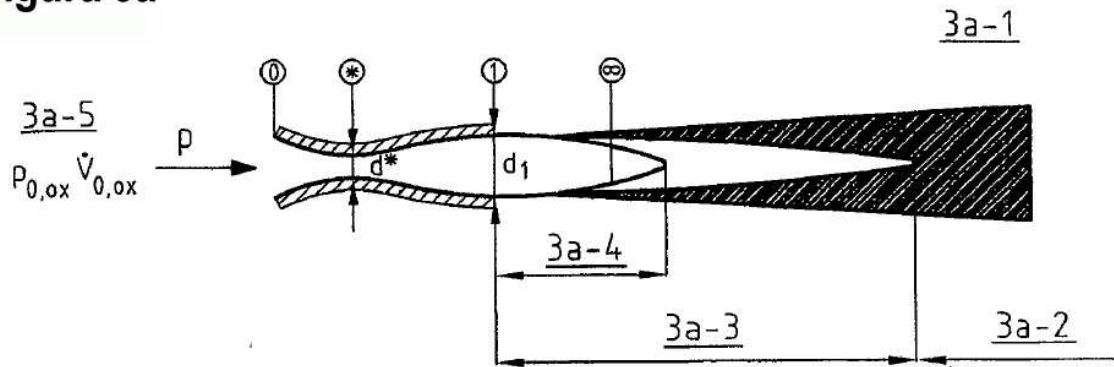


Figura 3b

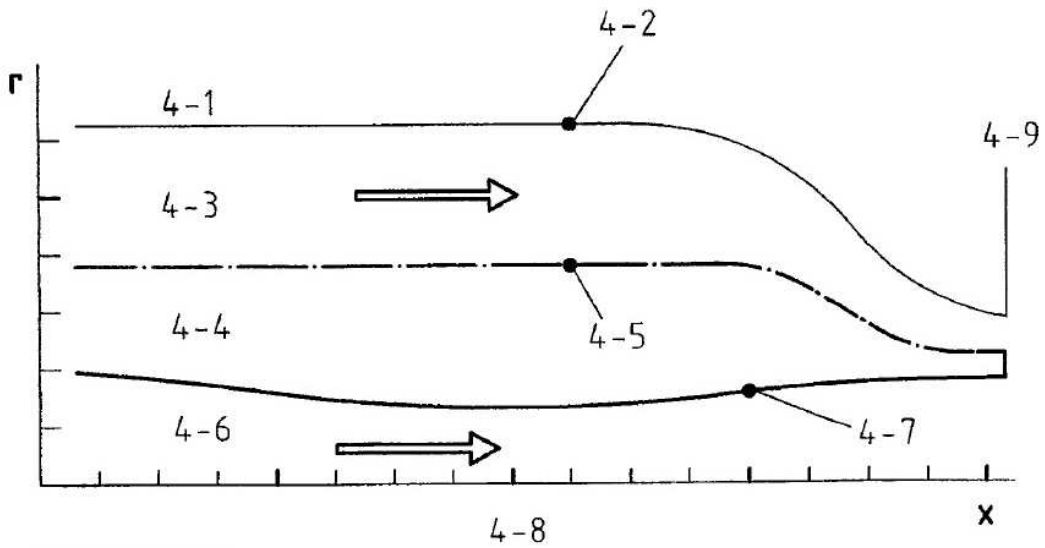
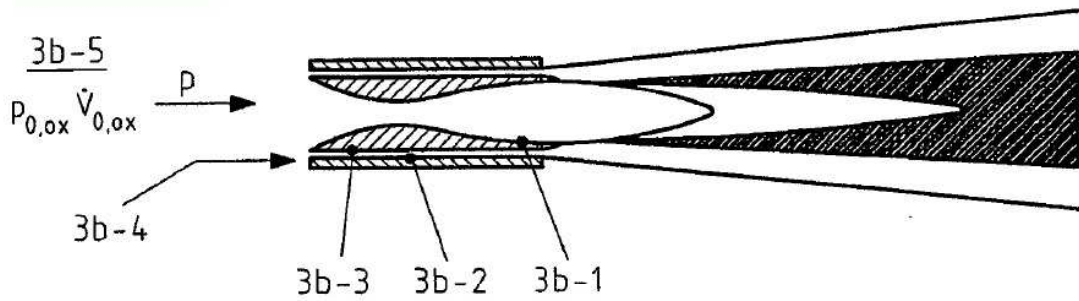


Figura 4

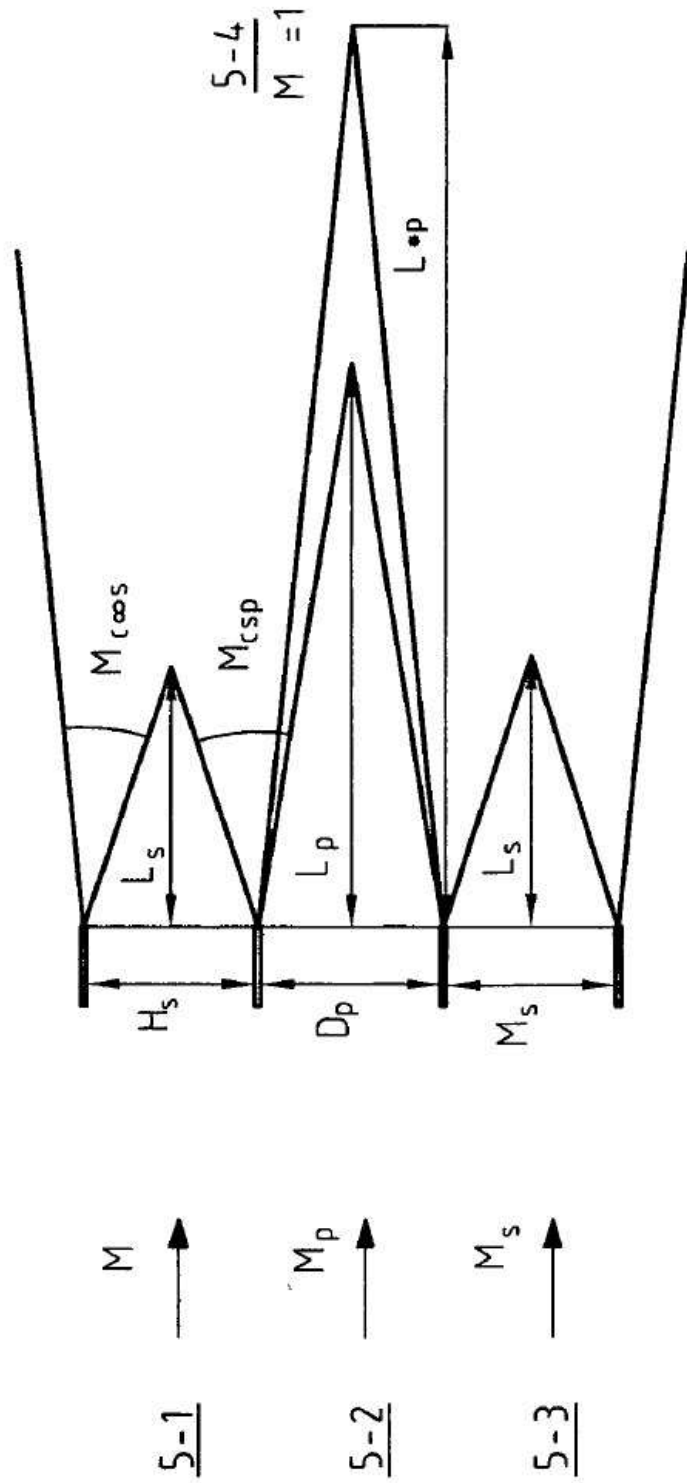


Figura 5

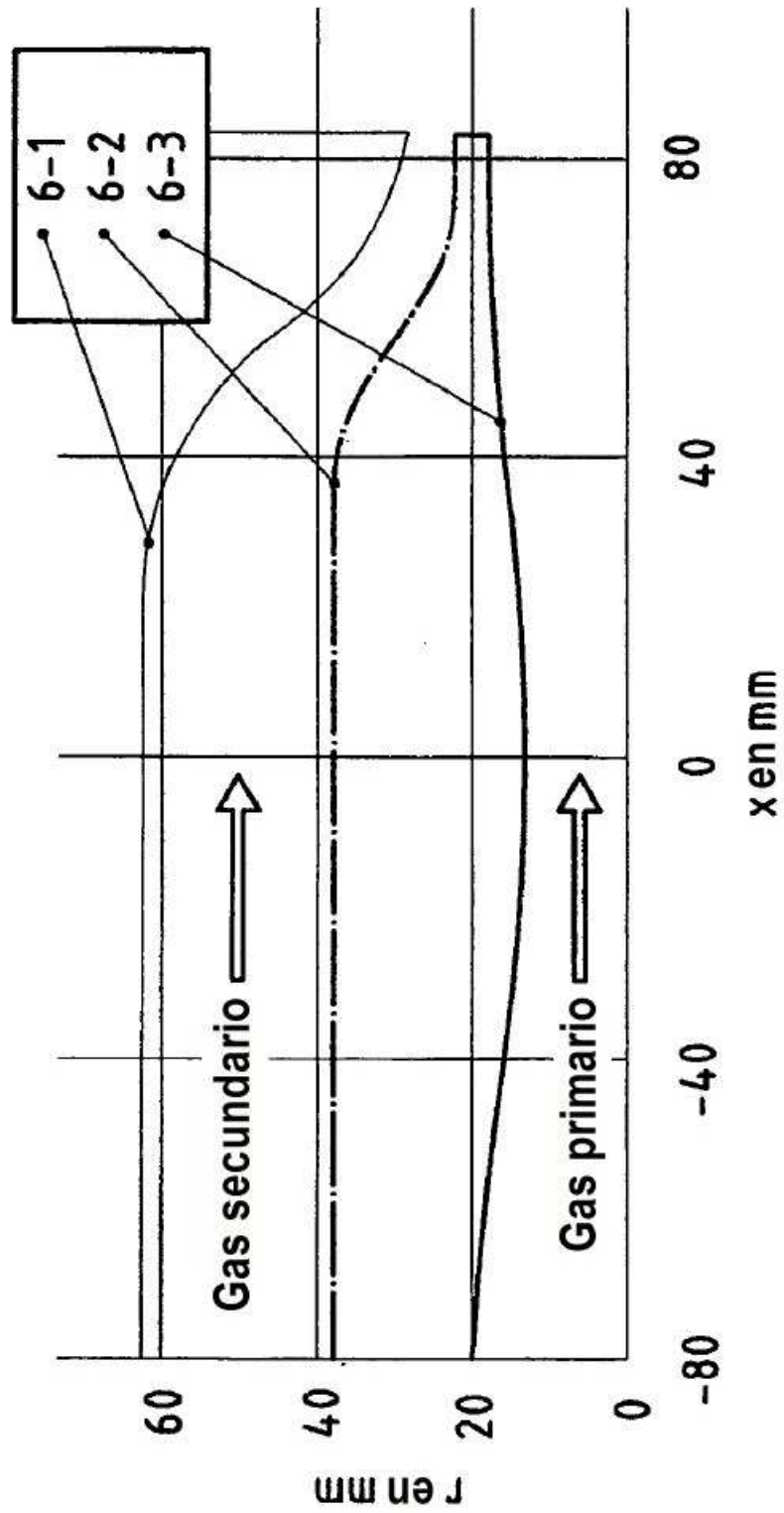


Figura 6