

Producción de aceros al carbono en hornos de arco eléctrico en condiciones de mineral de manganeso.

E. E. Navas Medina*, **J. Arzola Ruiz ****, **A. Batista Cabrera*****.

* Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín. Cuba. e-mail: nava@facing.uho.edu.cu

** Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad Habana, Cuba. e-mail: jarazola@ceter.cujae.edu.cu

*** Universidad de Holguín. Cuba. Teléfono: +53 24 48 2675. e-mail: acabrera@facing.uho.edu.cu

(Recibido el 8 de diciembre del 2006, aceptado el 12 de febrero del 2007)

Resumen.

El presente trabajo constituye una segunda etapa de investigación relacionada con la producción de acero en hornos de arco eléctrico con revestimiento básico en condiciones de utilización de mineral de manganeso como sustituto del ferromanganeso.

En la investigación se caracteriza el acero producido utilizando el mineral de manganeso en dos variantes tecnológicas diferentes y se determinan parámetros importantes, tales como la estructura del acero obtenido, la influencia de la composición química y la temperatura en la reducción del *Mn*. Adicionalmente, se determina la composición química de la escoria, su basicidad e influencia en el aprovechamiento del *Mn* del mineral, así como, lo que significa la sustitución del *FeMn* en la problemática medioambiental.

Palabras claves: Producción de aceros al carbono, hornos de arco eléctricos, mineral de manganeso.

1. Introducción.

En los aceros al carbono, la composición química del metal base esta compuesta por carbono (C), manganeso (Mn), Silicio(S), fósforo (P) y azufre (S), donde el %Mn se logra con la utilización de *FeMn*. En particular, la aleación *FeMn* es altamente costosa, por lo que el objetivo de la investigación se dirige a la utilización del mineral de manganeso en sustitución del *FeMn*, con el fin de reducir costos, consumo energético y el negativo efecto en el medioambiental de la producción convencional de acero, por concepto de la reducción de la contaminación derivada de la producción de las ferroaleaciones.

La procedencia y características del mineral utilizado, así como, las características del horno de arco eléctrico utilizado aparecen en un anterior trabajo publicado [7].

El horno utilizado permite el desarrollo del proceso de fusión completo, por lo que ocurren los periodos de oxidación y reducción en los que son aplicadas las dos variantes tecnológicas siguientes:

Variante 1. Se utiliza el mineral de manganeso en el período de oxidación para oxidar las impurezas y que

ocurrían las reacciones de reducción del *Mn* del mineral hacia el metal líquido.

Variante 2. Se utiliza el mineral de manganeso en el periodo de reducción junto con elementos reductores como el Aluminio y el Carbono para lograr la reducción del *Mn* del mineral hacia el metal líquido y se logre la sustitución del *FeMn*.

2. Estudio dinámico del proceso (Variante 1).

El mineral de Manganeso (pirilucita) posee alto % *MnO₂*, y para llevarlo por disociación a *MnO* hacen falta temperaturas de hasta 1500 °C [1,2], además posee un alto porcentaje de oxígeno por lo que se puede utilizar en lugar del mineral de hierro para la oxidación de las impurezas y las reacciones de reducción del *Mn* al metal líquido [7].

Para el desarrollo experimental se tuvieron en consideración algunos parámetros de forma constante y otros de forma variable. Estos se mencionan a continuación.

Parámetros constantes:

- Masa de acero a producir, 3000 kg
- Revestimiento básico
- Composición química del mineral de manganeso
- Temperatura del metal, $\pm 1520^{\circ}\text{C}$
- Tamaño de grano del mineral: 24,5 mm

Parámetros variables:

- Composición química (Carbono, Silicio y Fósforo) inicial en el metal base.
- Tiempo de oxidación - reducción del Mn del mineral al baño líquido (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 min).
- Basicidad de la escoria.

Desarrollo del experimento.

- Después de derretida la carga se verifica la temperatura con un pirómetro térmico Spectroport 220 jr.
- Conociendo el % de Mn en el metal base se añade el mineral de Mn para la oxidación de las impurezas.
- Cada 5 min se toman muestras para determinar el comportamiento del Mn hasta lograr el % de C, P y Mn establecidos y además se mide la temperatura del metal para verificar su comportamiento.
- En lo adelante el proceso transcurre de forma tradicional [10].

Resultados de las pruebas obtenidas.

Los resultados de las pruebas obtenidas aparecen en la tabla 1 [7]. A continuación se muestran los datos de la primera colada, con la correspondiente grafica.

Tabla 1. Comportamiento del Mn después de añadir el mineral para oxidar las impurezas (variante 1).

No. de Colada	Tiempo (min)	No. muestras	% de Mn
1 C = 0.81	0	1	0.30
	5	2	0.39
	10	3	0.57
	15	4	0.64
	20	5	0.61

Para una mejor comprensión se muestran los resultados de esta primera colada en la figura 1. Los datos de la tabla 1 y la figura 1 muestran como el mayor porcentaje de manganeso se reduce (pasa al baño metálico) entre los primeros 5 a 10 minutos después de añadido el mineral. Se aprecia, como entre los 15 y 20 minutos después de añadido el mineral comienza a disminuir el porcentaje de manganeso (el manganeso sale del baño metálico hacia la escoria en forma de MnO), por lo que al añadirlo en dos partes (al 50% cada una) garantiza un mayor porcentaje de manganeso en la aleación.

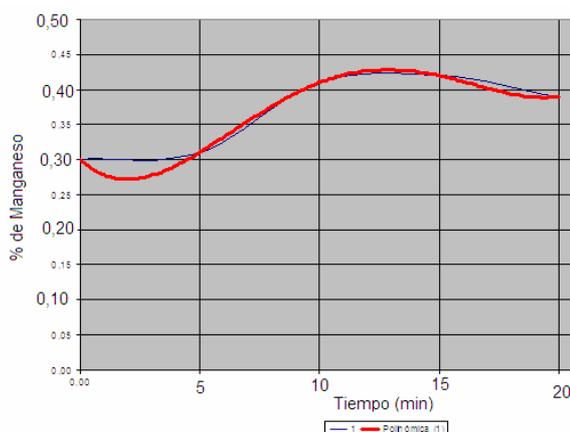


Figura 1 - Gráfico del comportamiento del Mn después de añadir el mineral para oxidar las impurezas.

$$(\% Mn = 1E-05t^4 - 0,0007t^3 + 0,0096t^2 - 0,0148t + 0,3 \quad R^2 = 1)$$

3. Estudio dinámico del proceso (Variante 2).

Cuando se añade una mezcla de mineral de manganeso conjuntamente con carbono y virutas de aluminio como agentes reductores en el periodo de reducción a temperaturas entre $1540 - 1560^{\circ}\text{C}$ y más, los estudios teóricos sobre las condiciones de trabajo del horno de arco eléctrico con revestimiento básico [6], demuestran que existen las condiciones termodinámicas necesarias para que en el intervalo de temperatura entre $1540 - 1560^{\circ}\text{C}$ ocurran las reacciones de reducción del Mn del mineral hacia el metal líquido [7].

Para el desarrollo experimental se tuvieron en consideración algunos parámetros de forma constante y otros de forma variable.

Parámetros constantes:

- Masa de acero a producir, 3000 kg
- Revestimiento básico
- Composición química del mineral
- Temperatura del metal, $\pm 1540^{\circ}\text{C}$
- Elementos reductores a emplear (C y Al)
- Tamaño de grano del mineral: 24,5 mm

Parámetros variables:

- Tiempo de reducción del Mn del mineral al baño líquido (5, 10, 15 y 20 min).
- Basicidad de la escoria.

Desarrollo del experimento.

- Una vez realizada y detenida la oxidación se toma una muestra de acero y se determina el % Mn de forma experimental en el espectrocast (spectro analytical instruments gmbh).

- Se verifica la temperatura con un pirómetro térmico spectroport 220 jr

- Una vez conocido el porcentaje de Mn al acero líquido se añade el mineral de Mn y luego la mezcla de troceado de electrodos y virutas de aluminio.
- Se toman muestras cada 5 minutos para verificar el comportamiento del Mn según análisis de composición química y se mide la temperatura para comprobar su comportamiento.
- Se saca el metal del horno para el vertido de los moldes.

Resultado de las pruebas obtenidas.

Como se puede apreciar en la tabla 2 los elementos reductores (carbono y aluminio) cumplen su función y se logra sin dificultad el paso del Mn del mineral hacia el baño metálico. Durante los primeros 5 minutos después de introducida la mezcla se observan los mayores incrementos del contenido de Mn en el acero.

A modo de ejemplo se ilustra la primera colada en la tabla 2.

Tabla 2 Comportamiento del Mn después de añadida la mezcla. Variante 2.

No. de Colada	Tiempo (min)	No. muestras	% de Mn
1 C = 0.36 % Al = 3 kg/t Coque =2 kg/t	0	1	0,30
	5	2	0,48
	10	3	0,62
	15	4	0,71
	20	5	0,69

Para una mejor comprensión se muestra gráficamente los resultados en la figura 2.

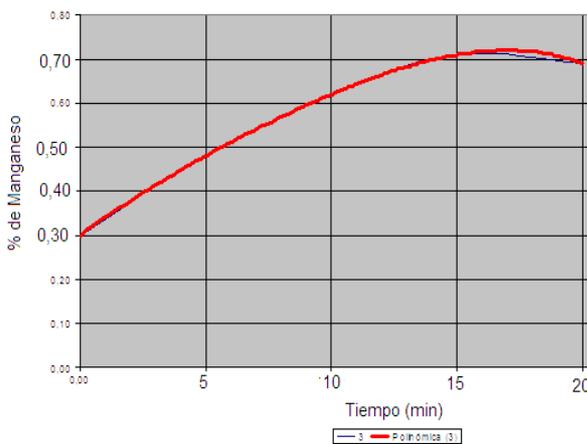


Figura 2 - Gráfico del comportamiento del Mn después de añadida la mezcla de mineral, aluminio y coque.
 $(\%Mn = -3E-06t^4 + 9E-05t^3 - 0,0015t^2 + 0,0418t + 0,3 R^2 = 1)$

Los datos de la tabla 2 y la figura 2 muestran como el mayor porcentaje de manganeso se reduce (pasa al baño metálico) entre los primeros 5 a 10 minutos después de añadida la mezcla. A partir de los 15 minutos después de añadida la mezcla a la escoria ocurre una pequeña disminución del % de Mn en el baño metálico y el manganeso comienza a salir del baño metálico en una reacción inversa en forma de óxidos.

Después del análisis de cada una de las variantes tecnológicas, se muestra mediante un gráfico el comportamiento comparativo de cada una de ellas. Ver figura 3.

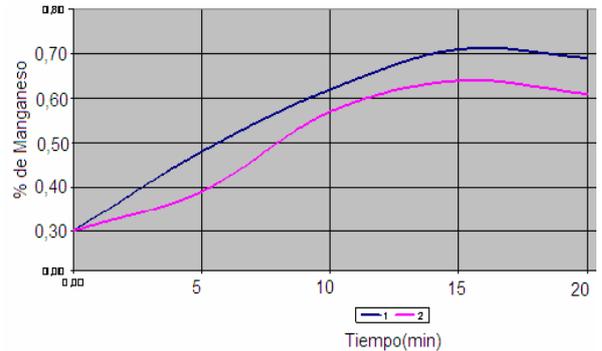


Figura 3. Gráfico comparativo del comportamiento del Mn después de añadir el mineral para oxidar las impurezas (color rosa) y la mezcla para la reducción (color oscuro).

De la figura 3 se puede concluir que, aunque en ambas variante a los 5 min el %Mn en el metal cae en marca, en la segunda variante se observa una mayor reducción del Mn del mineral al baño metálico, esto se debe, a que la segunda variante utiliza elementos reductores que aceleran la velocidad de reducción del Mn del mineral. Los resultados de la composición química y propiedades mecánicas aparecen reflejadas en el primer artículo publicado [7].

4. Estructura del acero obtenido con la utilización del mineral de manganeso.

Como es conocido, las propiedades del acero dependen de la composición química y de la estructura del metal o pieza obtenida, es por ello que se hace imprescindible la determinación de la estructura ya que como se puede apreciar la composición química se corresponde plenamente con lo exigido por la norma, además se determinó la posibilidad de que en la masa metálica queden restos de los componentes del mineral que puedan afectar las propiedades mecánicas del metal obtenido.

La preparación de las probetas se realizó utilizando la Norma ASTM 01.02-A53684 [9]. Después del desmolde las probetas fueron maquinadas y pulidas para

ser analizadas metalográficamente. Para el estudio de la microestructura se utilizó el Microscopio Metalográfico NEOPHOT – 32; en el cual se pudo apreciar que la estructura obtenida en el acero 35 fundido luego de ser Normalizado no poseía ninguna inclusión procedente del mineral que pudiese alterar sus propiedades mecánicas como se muestra en la figura 4.

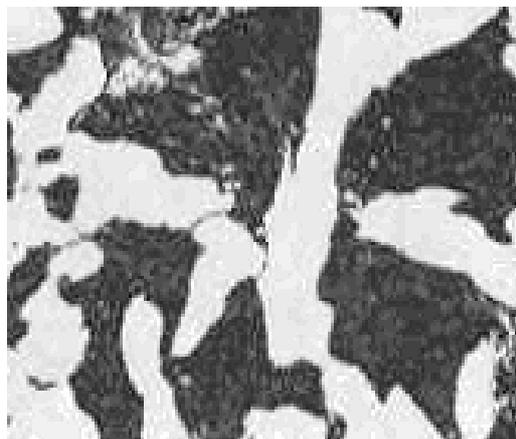


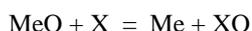
Figura 4. Acero 35 atacado con nital 2% con aumento de 500x, después del normalizado, obteniéndose una estructura de perlitita + ferrita.

5. Influencia de la composición química y la temperatura en la reducción del Mn.

Los aceros al carbono poseen en su composición química base elementos como: Carbono, Manganeso, Silicio, Fósforo y Azufre, elementos que a su vez poseen una determinada afinidad química; La afinidad química determina la posibilidad de las sustancias de reaccionar entre ellas, formando enlaces resistentes a diferentes temperaturas, (Linchebki [5] y Kudrin 1984 [4]).

Para la reducción del Mn se utiliza como elemento aportador el MnO_2 , el cual debe ceder el oxígeno para lograr la reducción de Mn.

Como ley, estos óxidos tienen alta resistencia, baja elasticidad de disociación y en las condiciones reales de temperaturas del proceso no se pueden disociar, por eso generalmente la desoxidación se realiza por medio de la introducción en la aleación de una sustancia elegida especialmente, nombrada reductora. Al introducir la misma en la aleación se desarrollarán las reacciones de oxidación-reducción del tipo:



Donde:

X - elemento reductor.

Siendo reductora aquella sustancia que tiene mayor afinidad química hacia el oxígeno que el metal reducido [8, 4].

Como se demostró cuando se funde acero al carbono y durante la obtención del % Mn a partir del mineral, tiene gran importancia la reacción de reducción del Mn a partir del MnO_2 con la ayuda del C y Al (elementos reductores).

La reducción directa es posible a temperaturas superiores a los $1000^{\circ}C$, cuando la afinidad hacia el oxígeno del Fe, C, Si, P, Al, etc., son mayores que las del manganeso. Entonces, es interesante la influencia de los componentes del metal base en la reducción del Mn, ya que además de las reacciones de oxidación – reducción ocurren otras reacciones como es el caso de la formación del MnS.

Variante 1:

Para determinar la influencia de la composición química del metal base se realizaron un total de 55 coladas en las cuales se trató de variar los porcentajes del elemento a investigar y mantener dentro de las posibilidades el resto de los componentes fijo (en condiciones de la industria esto no es fácil de lograr por lo que en la tabla presentamos algunos de los ejemplos que más se aproximaron). En la tabla 3 aparecen los resultados de los experimentos realizados en cada una de las coladas con diferente composición química.

Tabla 3. Comportamiento del Mn después de añadir el mineral en el metal líquido para oxidar las impurezas.

No. de Colada	Comp. Química %	Tiempo (min)	No. muestras	% de Mn
1	C = 0.76 Si = 0.24 Mn = 0.25 P = 0.04 S = 0.03	0	1	0,25
		5	2	0,29
		10	3	0,45
		15	4	0,51
		20	5	0,48
2	C = 0.98 Si = 0.24 Mn = 0.25 P = 0.04 S = 0.03	0	1	0,25
		5	2	0,32
		10	3	0,51
		15	4	0,59
		20	5	0,56
3	C = 0.76 Si = 0.38 Mn = 0.25 P = 0.04 S = 0.03	0	1	0,25
		5	2	0,29
		10	3	0,46
		15	4	0,53
		20	5	0,50
4	C = 0.76 Si = 0.24 Mn = 0.25 P = 0.09 S = 0.03	0	1	0,25
		5	2	0,29
		10	3	0,46
		15	4	0,52
		20	5	0,49
5	C = 0.76 Si = 0.24 Mn = 0.25 P = 0.04 S = 0.08	0	1	0,25
		5	2	0,29
		10	3	0,45
		15	4	0,51
		20	5	0,48

En esta variante la composición química influye de la siguiente forma:

Colada 1: Se observa como con alto por ciento de C (0,76), la reducción del Mn se realiza sin dificultad.

Colada 2: Se observa como con un aumento del carbono aumenta el %Mn reducido (es más rápida la velocidad de reducción).

Colada 3: Se observa que con más %Si que el resto de las coladas se logra un mayor %Mn final, por lo que se puede decir que el Si influye positivamente en la reducción del Mn.

Colada 4: Se observa que con el aumento del %P, aumenta el %Mn en la aleación lo que demuestra la influencia del P en la reducción del Mn (a mayor % P mayor será la reducción del Mn).

Colada 5: Esta colada presenta un aumento del %S, con la correspondiente disminución del % Mn y bajo las mismas condiciones de trabajo de las coladas anteriores, lo que a su vez demuestra que el azufre influye de forma negativa en el por ciento final del Mn ya que se forma MnS y sale a la escoria.

Influencia de la temperatura.

La temperatura en la variante 1 influye de la siguiente forma: Las mediciones de temperatura se realizaron una vez derretida la carga metálica y después de añadido el mineral de manganeso (cada 5 mn), con un pirómetro de radiación Spectroport 220 jr.

Se puede observar como se experimenta un alza del % de Mn, y ese crecimiento se mantiene hasta los 15 min, coincidiendo a los 15 mn el momento de máxima temperatura (durante los primeros 3 - 5 min la reacción es endotérmica dada por la descomposición y fusión del dióxido de Mn y la formación del CO, provocando la disminución de la temperatura en 20 °C, pero luego el Mn cede el oxígeno ocurriendo la oxidación del hierro, fósforo, silicio y la formación del CO₂ en reacciones exotérmicas que provocan el aumento de la temperatura hasta 60 °C).

Variante 2:

En esta variante tecnológica la composición química del metal base no influye mucho, ya que solo el carbono y el silicio poseen mayor afinidad química por el oxígeno a la temperatura de alrededor de 1540 – 1560 °C. Como el carbono está en la marca deseada y el silicio se oxidó casi por completo, su influencia en la reducción del Mn es insignificante (por esa razón se utilizan elementos reductores (C y Al)), solo el azufre puede influir de forma negativa si se encuentra en altos por cientos, como es el caso de la colada 5 de la tabla 3 ya que forma MnS que sale a la escoria.

Como la mezcla (mineral, C, Al) se añade en el período de reducción en el metal existe poca cantidad de oxígeno y por lo tanto hay menor posibilidad de que este se enlace con el Mn arrastrándolo hacia la escoria,

además, el oxígeno del mineral se enlaza con los elementos reductores, oxidándolos y provocando la reducción del Mn del mineral al baño metálico.

Resumiendo, los bajos % FeO, las altas temperaturas junto con bajos % S y la utilización de elementos reductores influyen positivamente en la reducción del manganeso.

6. Determinación de la composición química de la escoria y su influencia en el aprovechamiento del Mn del mineral.

Las muestras de escoria fueron tomadas al final de cada hornada con la ayuda de la cuchara de muestreo de la instalación para fundir acero (en la fundición de Holguín se trabaja con una sola escoria hasta el final), se sacaron varias muestras de escoria y se trasladaron hacia el centro de investigaciones siderúrgicas (CIS) de Nicaro, donde se realizaron los análisis de composición química. Los resultados de dichos análisis son los siguientes:

Variante 1

Colada	Composición química						
	CaO	MgO	FeO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
1	41	5	10,3	25	15	3,5	0,2
2	42	4,5	10,1	24,5	15	3,7	0,2
3	44	4	10	23	14,82	4	0,18

Variante 2

Colada	Composición química						
	CaO	MgO	FeO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
1	42	4,5	13,5	18,5	17	4,3	0,2
2	43	4,5	13	18	16,8	4,5	0,2
3	44	4	13,03	17	17	4,8	0,17

A continuación se muestra la composición química media de la escoria, obtenida según la tecnología tradicional en similares condiciones de trabajo.

Composición química						
CaO	MgO	FeO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
42	5	15	13,5	20,8	3,5	0,2

Basicidad de la Escoria.

Para las escorias básicas el valor de su basicidad se encuentra entre 1,2 – 2,8 y valores mayores a 2,8 es altamente básica. La basicidad se calcula por la formula:

$$(CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$$

Cálculo de la basicidad de la escoria por las 3 variantes analizadas:

Variante 1: $(42,5 + 4,5) / (15 + 3,5) = 2,54$

Variante 2: $(43 + 4,5) / (17 + 4,5) = 2,20$

Variante Tradicional: $(42 + 5) / (20,8 + 3,5) = 1,93$

Volumen de escoria (%) por variantes.

Como es sabido, por la tecnología tradicional de producción de acero en HAE, el % de escoria representa de 3 – 5 % de la masa metálica. El balance material de la hornada, así como los resultados experimentales, permiten estimar el crecimiento del % de la escoria, como consecuencia del conjunto de sustancias acompañantes a los óxidos de Mn y Fe en el mineral de Mn, sobre todo los óxidos de Mg, Al, Si, P etc., hasta el 6 % en la variante 1, mientras que para la variante 2 alcanza hasta el 5,5 %.

El análisis de los resultados de escoria muestra como la composición química de la misma influye en la reducción y aprovechamiento del Mn del mineral:

-En la variante 2 se observa como a mayor % de CaO en la escoria y utilizando elementos reductores (aluminio y carbono), menor es el por ciento de MnO en la escoria y, por tanto, el rendimiento del Mn del mineral es mayor.

- En la variante 1 se observa lo mismo, pero sin utilizar elementos reductores.

- Se observa que con valores aproximados de CaO en la escoria existe diferencia en el %Mn entre las dos variantes tecnológicas, o sea cuando se usan elementos reductores (variante2) el rendimiento del mineral es mayor.

- Con la introducción de las variantes tecnológicas se observa un incremento de la basicidad de la escoria lo cual incrementa el carácter reductor de la misma.

7. Impactos Energético y Ambiental

Impacto Energético.

De las pruebas de hipótesis realizadas se confirma que existe diferencia significativa en el consumo de energía eléctrica en ambas variantes con una reducción media del consumo de aproximadamente un 10 % en la variante 1 y de un 5 % en la variante 2 en comparación con la tecnología tradicional. Estos resultados reflejan el efecto de las reacciones exotérmicas y de la reducción de la duración de la hornada.

Por otra parte, según se conoce [3] el consumo medio de energía eléctrica que se alcanza en España durante la producción de ferromanganeso se encuentra en el orden de 2300 kWh/t.

Considerando un consumo medio de 30 kg de *FeMn* en una hornada, para el horno de 3 t en el que se hicieron los experimentos, se alcanza un impacto energético por la no necesidad de producir ferromanganeso de $0,03 \times 2300 = 69$ kWh/t de acero producido, lo que añade un 3 % adicional al impacto

energético de la sustitución del ferromanganeso por mineral de *Mn*.

De tal forma, el impacto energético total de la sustitución alcanza un 13 % de reducción por la variante 1 y un 8 % de reducción por la variante 2, con respecto a la tecnología tradicional.

Impacto Ambiental.

La sustitución de ferroaleaciones al *Mn*, por mineral de *Mn* presupone la reducción del impacto ambiental generado durante la producción de estas ferroaleaciones menos la afectación producida en el horno eléctrico como resultado de la introducción del mineral.

Al transformarse, estos insumos son causantes de la contaminación ambiental, la que abarca producción de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, los que contaminan el aire, la tierra y las aguas. Algunos de estos residuos pueden reutilizarse en otras producciones.

Tabla 4. Producción de *FeMn* en HAE.

Consumos	Características	Cantidades
Materias primas	<i>Mn</i> (MnO_2 , MnO , CaO) Sílice, Fe_2O_3	mineral 2100 – 2200 kg/t
Materias Secund.	Fundentes(caliza, cuarcita) Agente reductor (coque, carbón, madera)	Carbones: 390-425 kg/t
	Agua de refrigeración	2,2 m ³ /t
Energía	E. Eléctrica	1600 – 3000 kWh/t

La Tabla 5 resume el efecto medioambiental derivado de la producción de ferromanganeso, incluyendo cantidades de contaminantes que pasan al medio ambiente, cuales se pueden reutilizar y cuales no.

Residuos.

Durante el tratamiento térmico de minerales y concentrados, los gases arrastran impurezas que deben eliminarse antes de utilizarlos en cualquier tipo de producción secundaria, o de emitirlos a la atmósfera.

Las alternativas para el tratamiento de residuos metalúrgicos dependen de si el residuo es o no reciclable. Si lo es, la mejor alternativa es reciclarlo en el mismo lugar donde se ha generado, pero si desde el punto de vista económico y técnico no es viable debe ser enviado a una planta de reciclado externa.

Si el residuo no es reciclable, debe procurarse una minimización de su impacto ambiental, con depósito definitivo en el lugar de producción o en un lugar lo más próximo posible al mismo.

En el caso particular de las ferroaleaciones, se requiere de instalaciones para el briqueteado de los finos procedentes de los filtros y de los lodos para su fácil manejo y optimizar su empleo a la hora de la recirculación a los hornos.

Contaminantes sólidos.

Aunque según puede observarse de la tabla 5, la generación de contaminantes sólidos es significativa, su efecto se mitiga mediante la reutilización de los diferentes componentes de este tipo de contaminantes. Esto presupone la introducción de tecnologías modernas.

Durante la utilización experimental del mineral de *Mn* en sustitución del ferromanganeso la escoria resultante se incrementó hasta el 5 – 6 %, lo que no se compara en su volumen con la escoria resultante de la producción de ferromanganeso, lo que significa un incremento de alrededor de 20 – 30 kg de escoria, lo que significa un volumen inferior a la escoria que se generaría al producir los alrededor de 30 kg de ferromanganeso que se requiere por la tecnología habitual, la que asciende a $30 \times 1.75 = 52,5$ kg. Es decir, se logra un decremento en la generación de escoria. Por otra parte, no se generan

otros contaminantes sólidos propios de la producción de ferromanganeso como lodos, etc.

Contaminación atmosférica.

Durante las distintas operaciones se emiten a la atmósfera gases (productos de la reducción: óxidos de carbono, nitrógeno) y partículas de distinta índole. Los contaminantes más significativos son: *SO₂*, *CO₂*, *CO*, *N₂*, *H₂*, partículas metálicas suspendidas, polvos del mineral, etc.

A pesar que se ha alcanzado determinado desarrollo en el área de depuración de gases, captación de polvos, etc. su aplicación resulta muy cara y no se ha logrado reducir la contaminación atmosférica derivada de estas producciones.

En el periodo de realización de los experimentos en el taller se realizaron tomas de muestras de gases en el espacio de trabajo del taller, determinándose la composición de *SO₂*, *CO₂*, *CO*, sin detectar incrementos con respecto al uso de la tecnología habitual.

De tal forma, la sustitución de ferroaleaciones al Mn por mineral de manganeso elimina el impacto contaminante de la producción de ferroaleaciones.

Tabla 5 Contaminantes durante la producción de FeMn en HAE.

Efecto MA	Aspecto	Características	Cantidad	Tratamiento actual
Residuos	Escorias	<i>SiO₂</i> , <i>Al₂O₃</i> ,	HF <i>FeMn</i> 0,4 t/tprod.	La escoria, si es de calidad adecuada y rica en <i>MnO</i> , se reutiliza como materia prima en la producción de <i>SiMn</i> , si no para relleno.
		<i>CaO</i>	MC y LC <i>FeMn</i> 1,6 – 1,9t/p	
	Lodos depuradora	<i>Mn</i> , <i>MnO</i> , <i>SiO₂</i> , y trazas de <i>C</i> , <i>Al₂O₃</i> , <i>CaO</i>	30 – 50 kg/t	Reutilización
	Finos de filtro del horno	<i>CaO</i> , <i>MnO</i> , <i>FeO</i> , <i>SiO₂</i> , <i>Al₂O₃</i> , <i>MgO</i>	N.D.	Se mezclan con escoria de <i>SiMn</i>
Contam. atmosférica	Gases	Partículas	HC <i>FeMn</i> 5 – 60 mg/Nm ³ MC y LC <i>FeMn</i> menor de 25 mg/Nm ³	Con la utilización de Bag – house se puede alcanzar una emisión de polvo de 5 mg/Nm ³ .
		<i>SO₂</i>	HC <i>FeMn</i> 0,02 – 0,03 kg/t	-
		<i>CO₂</i>	HC <i>FeMn</i> 1,200 – 1,500 kg/t	-
		<i>CO</i> , <i>N₂</i> , <i>H₂</i>	N.D.	-
Contam. hídrica	Aguas Depuración de gases	Agua salada <i>CaO</i> , <i>SiO₂</i> , <i>MnO</i> .	20 m ³ /h	Tratamiento físico-químico

* El valor de *CO₂* corresponde al proceso de reducción exotérmica del silicio. Si se produce MC *FeMn* a partir del HC *FeMn*, sería de 100-500 kg/t producto.

Contaminación del agua.

Como puede observarse en la tabla 5, durante la producción de ferromanganeso se genera un volumen importante de agua salada con alto contenido de CaO, SiO₂, MnO, lo que requiere del uso de plantas de tratamiento químico para su descontaminación. El uso de mineral de Mn no incrementa en nada la contaminación del agua propia de la tecnología habitual de producción de acero, por lo que se elimina esta contaminación adicional que presupone la producción previa de ferromanganeso.

Efecto contaminante del consumo de energía eléctrica adicional.

Según se estudió el uso del mineral de Mn en sustitución del ferromanganeso presupone un consumo energético inferior al de la tecnología habitual en un 8 – 13 %, lo que significa un impacto ambiental inferior en esa misma magnitud de la contaminación ambiental generada en la producción de energía eléctrica.

8. Conclusiones.

Se han logrado los siguientes resultados:

La reducción del Mn del mineral se logra por ambas variantes tecnológicas. La disminución del %Mn en el metal se observa a partir de los 15 – 20 mn, debido a que en el metal líquido todavía existe una pequeña cantidad de oxígeno, por lo que se recomienda (cuando el metal tenga que permanecer durante un tiempo mayor del establecido en el horno), añadir sobre el baño de escoria una capa de carbono (coque), para detener la oxidación del Mn.

La composición química del mineral de Mn no influye de forma negativa en las propiedades mecánicas del metal ya que en las pruebas metalográficas no aparece ninguna inclusión procedente del mineral que pudiese alterar las mismas, además, la estructura obtenida es: perlita + ferrita.

Se comprobó que el carbono, silicio y fósforo son reductores del Mn por lo que aumentan su reducción hacia el metal líquido, mientras el azufre la reduce debido a que forma sulfuros de manganeso que salen a la escoria.

La temperatura se comporta de la siguiente forma: durante los primeros 3 mn la reacción es endotérmica dada por la descomposición y fusión

del dióxido de Mn y la formación del CO (disminuye 20°C) pero luego el Mn cede el oxígeno ocurriendo la oxidación del hierro, fósforo, silicio y la formación del CO₂ en reacciones exotérmicas que provocan el aumento de la temperatura en 60°C.

Se comprobó que la basicidad de la escoria influye directamente en la reducción del Mn del mineral al metal líquido (a mayor basicidad, mayor será la reducción del Mn).

Con la utilización de las variantes tecnológicas propuestas se logra reducir la problemática medioambiental, por concepto de la eliminación del proceso de producción del FeMn.

9. Bibliografía.

1. Cruz A., Quintana R, y otros. Caracterización de un mineral de manganeso para su utilización en la síntesis de fundentes para la soldadura automática. Revista de Metalurgia, p 114 – 122. Madrid 39. Marzo – Abril 2003.
2. Cruz A., Quintana R, y otros. Empleo de Escorias de Soldadura del sistema MnO – SiO₂ para la obtención de un nuevo fundente aglomerado aleado. Revista de Metalurgia p 3 – 11. Madrid 41. Enero – Febrero 2005.
3. Ferroaleaciones. Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente. http://www.eper_es./ver.asp?id=1046&DOC=1111. Madrid, España, 2006
4. Kudrin V.A. Metalurgia del acero. Editorial MIR 1984 p423.
5. Linchebki B. Técnicas para experimentos metalúrgicos 2^{da} Edición. Metalurgia.1989.
6. Morral, F, R. Metalurgia general. Editorial Reverte. Barcelona, España 1985. p 695.
7. Navas M.E. y Batista C,A. Utilización del MnO₂ (pirilucita) en la producción de aceros al carbono, Revista Minería y Geología. Vol.18 , 3-4 / 2003, p 73-78.
8. Navas M.E. y Batista C. A. Metalurgia de la Fundición. Universidad de Holguín. 2005. p 452
9. Norma ASTM 01. 02 – A53684 (1993). Dimensiones y preparación de muestras para piezas fundidas.
10. Suchkov A. Producción de acero en Hornos de Arco Eléctrico, Universidad de Holguín, 1992.

Steel production in electric arc furnaces in the condition of use of manganese.

Abstract:

This present work constitutes the second stage of investigation in relation with the steel production by means of electric arc furnaces in the condition of use of manganese ores as a substitute of the ferromanganese. In the investigation, the steel manufactured is analyzed the manganese ore in two different technological variants and some important parameters are determined such as: the chemical composition's structure of the steel, the influence of temperature in the reduction of Mn. Moreover, an analysis of the chemical composition of the slag and the influence in the environmental is realized.

Key words: Carbon steel production, electric arc furnaces, manganese mineral.

5to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica



Del 1ero al 5 de diciembre del 2008 en La Habana, Cuba

El CCIM 2008 tendrá como tema central “La Informática en la Ingeniería Mecánica y Metalúrgica del Siglo XXI” y contará con las siguientes temáticas:

- Mecánica Computacional, Biomecánica y las TIC en la Ingeniería Mecánica y Metalúrgica.
- Mecatrónica y los Sistemas de Diseño y de Fabricación Avanzados
- Gestión de Flota del Transporte
- Energía y sus Tecnologías Emergentes
- Materiales; Novedades y Tecnologías
- Metalurgia y Procesos Metal-Mecánicos
- Enseñanza de la Ingeniería Mecánica y Metalúrgica.
- Sistemas de Mantenimiento.

Para más información visite el sitio: <http://www.cujae.edu.cu/mecanica/CCIM-2008>

O contactar al Comité Organizador en la dirección electrónica: ccim@mecanica.cujae.edu.cu