

REDUCCION DIRECTA

M. Sc. René Bustamante M.
Profesor Jornada Completa
Departamento Metalurgia UTE



INTRODUCCION

La siderurgia moderna se encuentra en una fase de decisiones de extrema importancia, que pueden comprometer seriamente los esfuerzos nacionales si se basan en premisas insuficientemente analizadas. Cada país en particular debe tomar sus decisiones haciendo un análisis exhaustivo de sus propias posibilidades en recursos naturales del mercado internacional, cada vez menos dependiente del control de países aislados o grupos de países, por más fuertes que sean. Las modernas tecnologías siderúrgicas indican, actualmente, dos vías para la producción de acero¹: reducción propiamente tal y sobre reducción (no sólo se reducen los óxidos de hierro, sino que también otros óxidos no ferrosos y además se produce una carburación del metal), en el alto horno, seguida de una oxidación en acería (esta última constituida generalmente, hoy en día, por una conversión al oxígeno), y por otro lado una reducción de los minerales de hierro al estado sólido, es decir una vía más directa, tal como se puede ver en la figura 1.

En lo que se refiere a la vía alto horno es perfectamente conocida, sin duda en lo que se refiere a sus posibilidades y perspectivas, la reducción directa, en cambio se encuentra en sus fases preliminares representando una tecnología con un vasto campo a ser explorado.

De aquí que, la opción por el alto horno significa seguridad operacional y certeza en cuanto a los resultados a alcanzar. La opción por la reducción directa, por otro lado, implica la posibilidad de obtención de resultados a medio y largo plazo tal vez mejores que los permitidos por el alto horno, obligando eso sí, al mismo tiempo, a asumir todos los riesgos inherentes al pionerismo que significa la adopción de dicha tecnología.

Al observar las políticas económicas en lo que se refiere al comercio internacional, tendientes al aumento siempre creciente del egoísmo de los países, en el sentido de que cada vez más se reservan para sí las materias primas necesarias para todos, aconsejan a que cada país aplique el máximo esfuerzo en ser lo menos dependiente

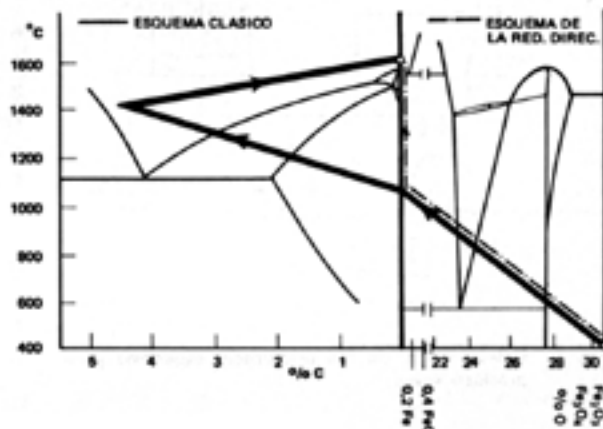


Fig. 1: Diagrama de trabajos opcionales para producir acero.

posible de terceros para el funcionamiento de su siderurgia.

De las materias primas e insumos utilizados en una siderurgia, los reductores adquieren una gran importancia, en particular porque son fuente de energía. De aquí que las crisis mundiales de energía, como la que actualmente ocurre, afectan poderosamente a la siderurgia (tabla I).

TABLA I
CAMBIO EN EL PRECIO DE LA ENERGÍA* (1967 = 100)

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Carbón coquificado	100	102,2	110,2	142,0	165,0	176,0	192,0	367,4	537,9	503,2
Petróleo	100	98,1	99,6	101,1	106,8	108,9	128,7	223,4	257,5	268,8
Gas Natural	100	101,6	103,2	112,2	121,0	131,3	155,1	155,1	215,3	272,1
Electricidad	100	100,9	102,0	104,8	113,6	121,5	121,3	163,1	193,4	211,8

* De Iron Age, November 8, 1976.

Colocándonos en un plano más práctico y desde el punto de vista económico, lo anterior conduce a disponer de cierto número de esquemas que pueden permitir una mayor flexibilidad para la elaboración del acero, los que se han resumido en la figura 2, observándose allí que pueden posibilitarnos una mayor adaptación.

- a los recursos de mineral de hierro y sobre todo de energía, de las diferentes regiones;
- a las capacidades de producción contempladas;
- a la división de conjunto del esquema, con la ubicación de ciertas operaciones, por ejemplo, en las zonas mineras;
- a obtener un mejor control de las condiciones ambientales en las regiones donde se hallan las instalaciones siderúrgicas.

Parece evidente que la prerreducción va a conceder una nueva dimensión en la siderurgia y una mayor flexibilidad para el proyecto de usinas siderúrgicas, pero no creemos que se impondrá algunos de estos esquemas, sino que por el contrario, se generará toda una serie de diferentes esquemas adaptados a problemas diversos.

Procesos de reducción de Minerales de Hierro^{1, 2, 3}

Los principios básicos de la reducción de óxidos de hierro usando reductores carbonáceos se remonta a 4.000 años. En los inicios de la siderurgia no se obtenían altas temperaturas, pero con la evolución de la tecnología esa posibilidad se fue desarrollando, surgiendo al final el alto horno, que después de perfeccionamientos graduales alcanzó el grado de eficiencia que se conoce hoy, constituyéndose en la base fundamental de la moderna industria siderúrgica mundial. El desarrollo de los altos hornos llegó a tal punto que actualmente existen usinas que pueden producir más de 10.000 toneladas de arrabio por día. A pesar de haber alcanzado tales niveles de producción, varios factores, tales como: la dificultad creciente de obtención de coque de buena calidad y/o su alto precio, hicieron que los siderúrgicos buscaran nuevas técnicas de reducción de minerales de hierro.

Como resultado de tales investigaciones fueron desarrollados un sinnúmero de procesos de reducción directa, los cuales toman en cuenta disponibilidad de minerales de hierro cuyo uso en el alto horno no es factible o conveniente, el empleo de carbón no coquificable u otros combustibles sólidos.

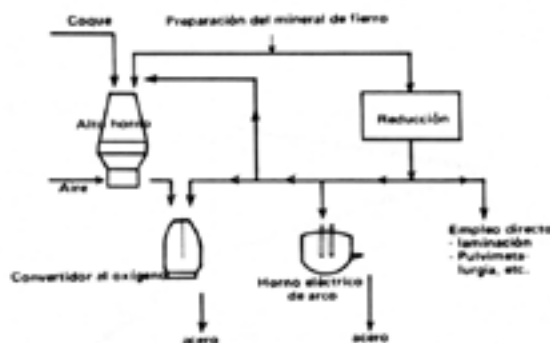


Fig. 2: Comparación de los principales esquemas para producir acero.

dos, líquidos y gaseosos, la posibilidad de complementar las necesidades de chatarra y/o la falta total en ciertas áreas, operando económicamente a una escala determinada por el mercado regional y por la disponibilidad de materias primas adecuadas.

Los procesos de reducción de minerales de hierro actualmente conocidos se dividen en dos grandes grupos, a saber:

- procesos de reducción en fase líquida, en los cuales la reducción se lleva a efecto en presencia de exceso de carbono, dando como resultado un arrabio, producto exento de oxígeno y rico en carbono.
- procesos de reducción en el estado sólido, en los cuales la retirada del oxígeno se procesa por debajo del punto de fusión del hierro, resultando un producto con bajo porcentaje de carbono y porcentajes todavía elevados de oxígeno, usualmente llamado hierro esponja. Estos procesos son los que se denominan de reducción directa.

Los procesos de reducción en fase líquida son dos:

- Alto Horno, en el cual la reducción se verifica por medio del carbono, que actúa también como fuente de energía del proceso.

- Horno Eléctrico de Reducción o Bajo Horno, en el cual la reducción se lleva a efecto mediante el carbono y la energía necesaria para el proceso es energía eléctrica.

En cuanto a los procesos de reducción directa se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Procesos en horno rotatorio, usando reductores sólidos. Los más conocidos actualmente son:

- SL/RN proceso continuo de producción de hierro esponja, usa carbón como agente reductor y térmico, variando desde el lignito, coque de baja temperatura, antracita, etc. Utiliza mineral de hierro o pellets, que es cargado en el horno rotatorio conjuntamente con el agente reductor. La temperatura de las reacciones es de aproximadamente 1100°C. El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización en torno de 95%. El consumo aproximado de combustible es del orden de 3,4 a 4,0 Gcal por tonelada de producto. El costo de la inversión es del orden de US\$ 37,00 por tonelada de hierro esponja.

- KRUPP proceso continuo de producción de hierro esponja en horno tubular rotativo que utiliza carbón como agente reductor y térmico. La operación es rentable si se parte de un mineral en trozos, de pellets o de concentrados con un contenido de hierro superior al 65%. La temperatura de las reacciones varía de aproximadamente 1100°C a 1250°C. El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización entre 90 y 97%. El consumo aproximado de combustible es del orden de 5,5 a 7,6 Gcal por tonelada de hierro reducido.

- Procesos en Lecho Fijo.

- H y L, proceso intermitente de producción de hierro esponja en reactores fijos utilizando una mezcla de hidrógeno y de monóxido de carbono obtenidos mediante la reformación catalítica de gas natural o de cualquier otro hidrocarburo reformable por vía termo-catalítica como agente reductor y térmico, el cual circula en el mismo sentido que el de la carga compuesta de mineral o pellets. El gas reductor contiene cerca de 74% de H₂ y 13% de CO. La temperatura de reacción es de alrededor de 980°C. El hierro esponja obtenido tiene un grado de metalización del orden de 88%. Utiliza mineral de hierro o pellets, principalmente pellets. El consumo aproximado de combustible es del orden de 4,7 a 6,0 Gcal por tonelada de hierro. El costo de inversión es del orden de US\$ 39,00 por tonelada de hierro esponja.

- Procesos en lecho móvil de mineral en trozos o pellets.

- MIDREX, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con



**FUNDICION MAESTRANZA
SALAS HNOS. S.A.C.I.**

Por más de 30 años
al servicio de la minería
en sus líneas de fabricación
de máquinas chancadoras,
harneros vibratorios, etc.



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA CHILE DE:

DENYO CO. LTDA. JAPON



**GRUPOS
ELECTROGENOS**
desde 1 a 450 K.V.A.
Soldadoras Portátiles.
Diesel y gasolina.
Compresores desde 80 a
370 pie 3/min.
Plantas auxiliares de electricidad

**SALESIANOS 537
FONO: 511899**

CASILLA 69, CORREO SAN MIGUEL

movimiento de la carga descendente, utilizando una mezcla de $H_2 + CO$ como agente reductor y térmico. El agente reductor contiene cerca de 70% de H_2 y 20% de CO . La temperatura de reacción es del orden de 980°C. El hierro esponja obtenido tiene un grado de metalización en torno a 88%. Utiliza mineral de hierro en trozos o pellets. El consumo de energía es del orden de 4,0 Gcal por tonelada de hierro. El costo de la inversión es del orden de US\$ 35,00 por tonelada de hierro esponja.

- PUROFER, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con movimiento de la carga descendente, utilizando como agente reductor una mezcla de $H_2 + CO$. El agente reductor circula en contra corriente con la carga de mineral de hierro. El gas reductor contiene cerca de 70% de H_2 y 20% de CO . El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización en torno de 94%. Utiliza mineral de hierro en trozos o pellets. El consumo de combustible es del orden de 3,3 Gcal por tonelada de producto. El costo de inversión estimado es de US\$ 32,00 por tonelada de hierro esponja.
- ARMCO, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con movimiento de la carga descendente, utilizando como agente reductor una mezcla de $H_2 + CO$ con cerca de 80% de H_2 y 15% de CO . El gas reductor circula en contra corriente con la carga de mineral de hierro. La temperatura del proceso es del orden de 870°C. El consumo de combustible de 2,8 Gcal por tonelada de producto. El costo de inversión es del orden de US\$ 50,00 por tonelada de hierro esponja.

d) Procesos en lecho fluidizado de finos de mineral

- ESSO FIOR, proceso continuo de producción de hierro esponja en operaciones por etapas en lechos fluidizados, utilizando como agente reductor una mezcla $CO + H_2$. El gas reductor circula en contra corriente con la carga. Utiliza finos de mineral de alta pureza. La temperatura de reacción es en torno de 820°C. El hierro esponja obtenido es briqueteado después de la reducción, tiene un grado de metalización entre 90 y 95%. El consumo de energía requerida por tonelada de hierro esponja es del orden de 4,9 Gcal. El capital invertido es del orden de US\$ 50,00 por tonelada de producto.
- NU-IRON HIB, proceso continuo de producción de hierro esponja en operaciones por etapa, utilizando como agente reductor el hidrógeno puro. Se cargan finos de mineral de hierro de alta pureza. La temperatura de reacción es de alrededor de 700°C. El hierro esponja

obtenido es briqueteado después de la reducción y tiene un grado de metalización entre 75 y 92%. El consumo de energía por tonelada de hierro esponja es del orden de 4,9 Gcal.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los trabajos consultados es posible extraer algunas consideraciones finales a modo de conclusiones:

Los procesos de reducción directa están sufriendo una serie de cambios y es así entonces que los procesos en horno de cuba, lechos fluidizados y hornos rotatorios seguirán evolucionando. Sin embargo, con la información disponible es posible evaluar en forma relativa, los méritos para cada uno de los procesos. Los avances tecnológicos que se están logrando en la gasificación de carbones con el objeto de generar gas reductor para los procesos en horno de cuba tienen un papel cada vez más importante en la industria siderúrgica.

Los procesos de lecho fluido tienen la ventaja de usar finos de minerales directamente sin necesidad de una aglomeración. No en tanto tienen un alto consumo de combustible y un alto costo de inversión comparado con los otros procesos.

Los procesos en lecho fijo tienen una relativa baja eficiencia térmica, pero su operación es la más simple de todas. Los procesos en horno rotatorio también tienen una baja eficiencia térmica, pero tienen la gran ventaja de usar una amplia variedad de combustibles sólidos.

- En general existirá probablemente la tendencia a separar los suministros de reactivos reductores de las necesidades térmicas.
- Además el mineral de hierro constituye la parte más importante del precio de costo del hierro esponja, es decir la usina de reducción directa debe ser diseñada mucho más en función del mineral que empleará que de los recursos energéticos que se proyecta utilizar
- Lo último es que no cabe comparar solamente procesos de reducción sino más bien vías de producción de acero, de ahí que la tecnología adoptada será una función del proceso de reducción y viceversa. ■■■

BIBLIOGRAFIA

1. "Reducción Directa en América Latina" ILAFA, 1974.
2. "Reducción Directa 1975" Tomos 1 y 2, ILAFA, 1975.
3. Terence E. Dancy, "The Evolution of Iron Making" Met. Trans., 8B, 201-213, 1977.