



CAPÍTULO 9: REDUCCIÓN DIRECTA DE MINERALES DE HIERRO COMO ALTERNATIVA AL PROCESO EN EL ALTO HORNO

9.1. INTRODUCCIÓN

Se suele llamar reducción directa a todo proceso de reducción de los óxidos de hierro distinto del que se realiza en el alto horno. Esta definición se apoya en la evolución de la tecnología siderúrgica, pues con los procesos primitivos se obtenía un hierro pastoso, mezclado con escoria, muy poco carburado y susceptible de trabajarse directamente para convertirse en diversos objetos (**hierro pudelado**); mientras que al aparecer el alto horno, que produce el arrabio, fue necesario un procedimiento adicional de refinado para eliminar la mayor parte del carbono absorbido por el hierro y convertirlo en una aleación forjable, **el acero**. De este modo, el proceso de reducción en el alto horno, por no conducir directamente al producto buscado, fue considerado indirecto.

Otra definición consiste en considerar que la reducción directa engloba todos los procesos de reducción que se efectúan sin llegar a la fusión, llegando a un producto que recibe el nombre de pre-reducido o **hierro-esponja**.

El hierro esponja es también una ruta directa del mineral al acero, mientras que la vía pasando por arrabio se puede considerar como una “sobre-reducción”, ya que además de la reducción del mineral de hierro se produce la reducción adicional de otros óxidos (SiO_2 , MnO , etc.) y la carburización del hierro, que exige luego un proceso contrario a la reducción, o sea, oxidación en la acería.

9.2. HIERRO ESPONJA Y PREREDUCIDO

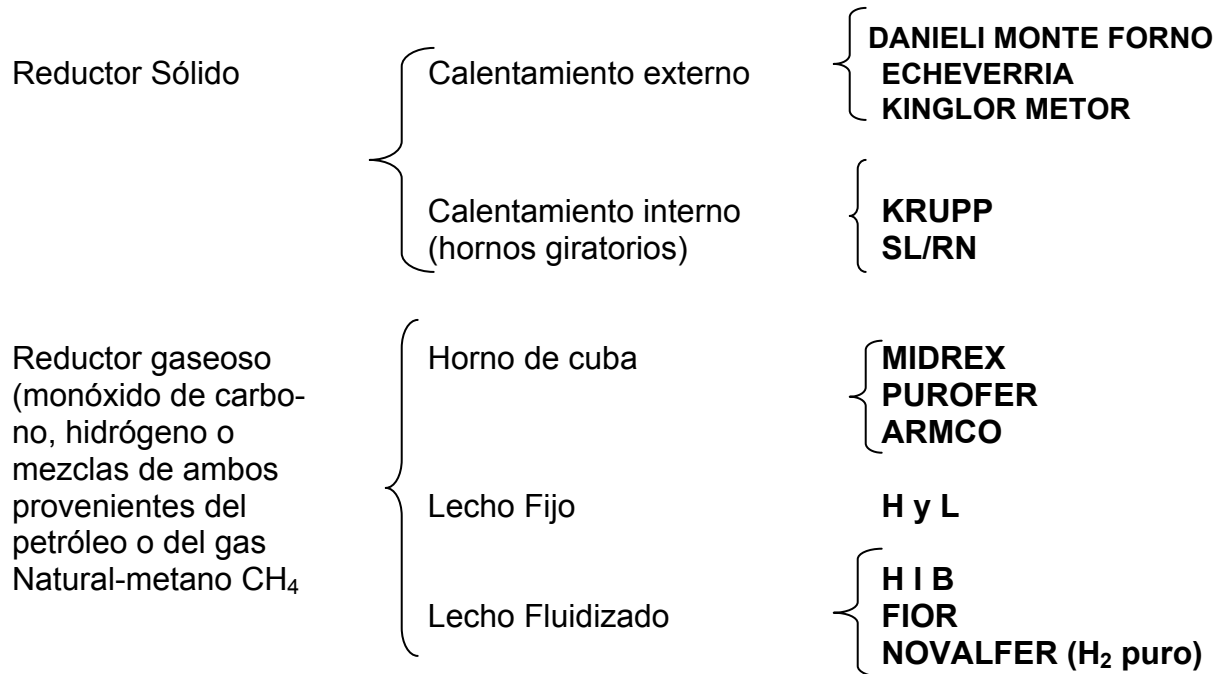
Cuando la eliminación del oxígeno de los óxidos de hierro se efectúa sin llegar a la fusión, el producto conserva la forma original del mineral, pero con notable mayor porosidad. Por esta última condición recibe el nombre de **hierro esponja**. En la práctica industrial la reducción en el estado sólido nunca es completa de allí que al producto se suele llamar también “pre-reducido”. A veces se desea hacer diferencias y se suele llamar hierro esponja al producto que tenga un grado de reducción igual o superior al 85%, entendiéndose por grado de reducción.

$$R = \frac{O_r}{O_t} \times 100$$

O_r : oxígeno removido del mineral
 O_t : oxígeno total en el mineral

9.3. PROCEDIMIENTOS EN USO

Los procedimientos utilizados para reducir el mineral de hierro son ya muchos (Ver Figuras), pero se pueden clasificar del siguiente modo:



9.4. MATERIA PRIMA

9.4.1. TAMAÑO

El mineral que entra en el aparato de reducción directa deberá estar formado únicamente por óxidos y su tamaño depende del tipo de horno utilizado, de acuerdo con el siguiente cuadro.

	Horno Giratorio	De Cuba	Lecho Fijo	Lecho Fluidizado
Fino	X			X
Harneado clasificado	X	X	X	
Pellets	X	X	X	

Aún así debe evitarse la presencia de extrafinos de 40 ó 100 micrones, con objeto de evitar el atascamiento en los hornos giratorios y los arrastres por los gases.

9.4.2. COMPOSICIÓN

Cualquier mineral de óxido de hierro es apto mientras contenga muy bajo azufre y fósforo, pues el proceso no permite eliminación de ellos.

9.4.3. INSTALACIONES

En las figuras siguientes se ilustra con diagramas de flujos algunos de los tipos industriales utilizados hoy en día.

El proceso SL/RN usa un horno rotatorio inclinado con reductor sólido (finos de coque o carbón) se carga conjuntamente con el mineral en trozos de pellets y caliza.

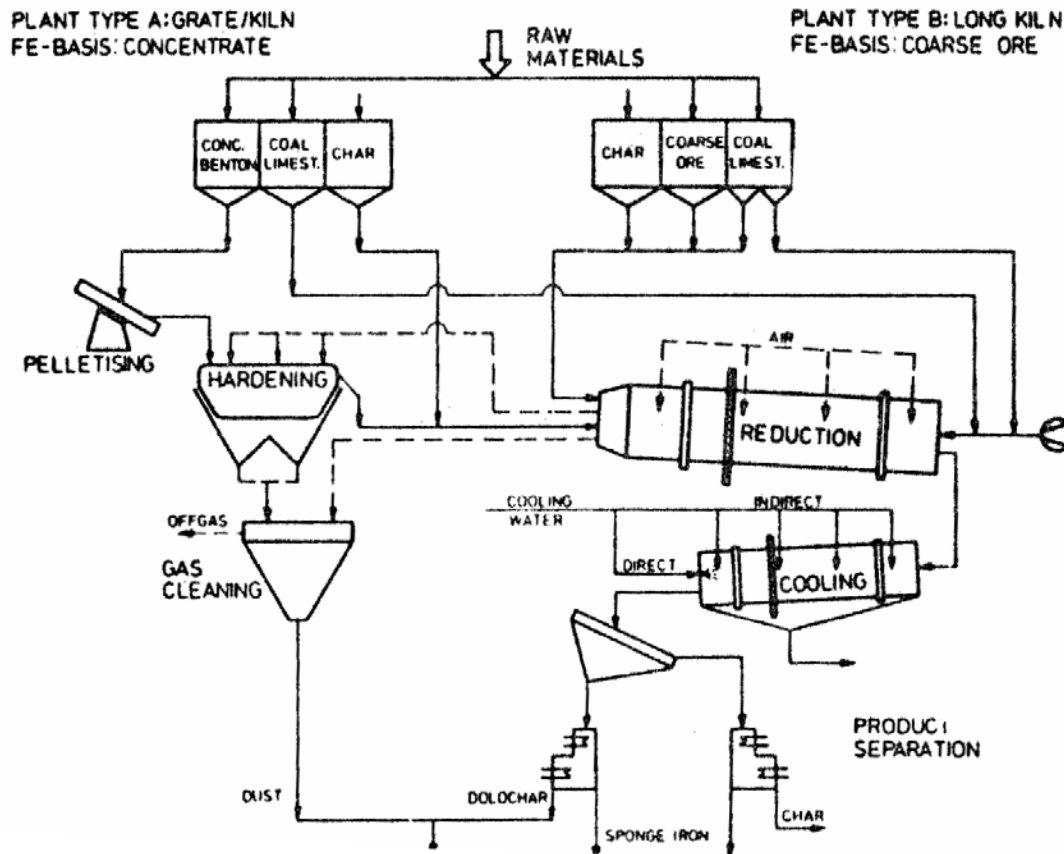
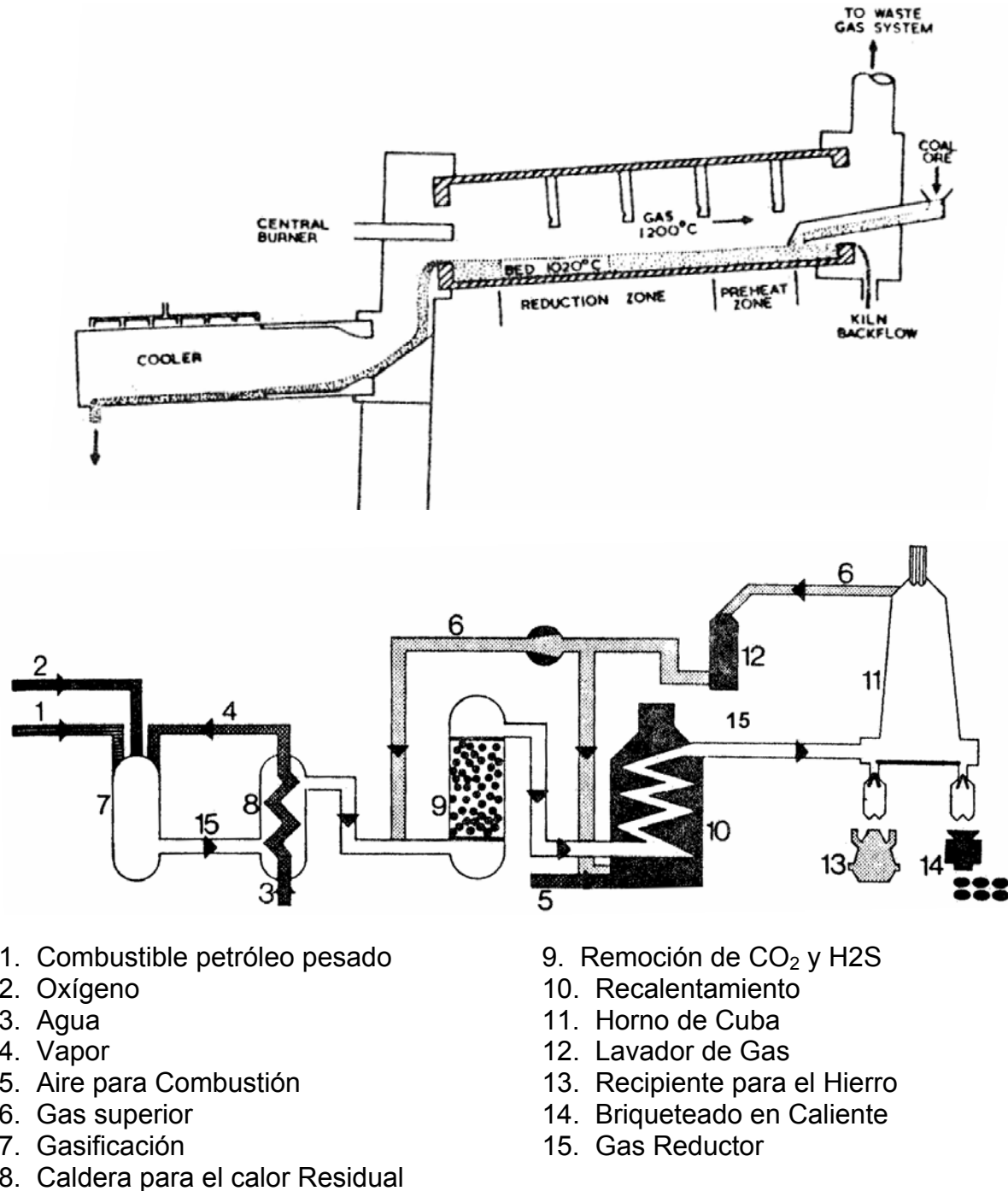


Figura 1: Proceso FIOR de reducción directa

En la boca de la salida tiene un quemador de gas, petróleo o carbón. La temperatura más alta fluctúa entre 1000 y 1100° C. La descarga se efectúa en un cilindro rotativo refrigerado por agua para enfriar el producto que sale entonces a menos de 200°C con lo que se evita la reoxidación. Este tipo de horno rotatorio frecuentemente también se llama horno KILN.



1. Combustible petróleo pesado
2. Oxígeno
3. Agua
4. Vapor
5. Aire para Combustión
6. Gas superior
7. Gasificación
8. Caldera para el calor Residual

9. Remoción de CO_2 y H_2S
10. Recalentamiento
11. Horno de Cuba
12. Lavador de Gas
13. Recipiente para el Hierro
14. Briqueteado en Caliente
15. Gas Reductor

Figura 2: Proceso PUROFER basado en combustible petróleo pesado

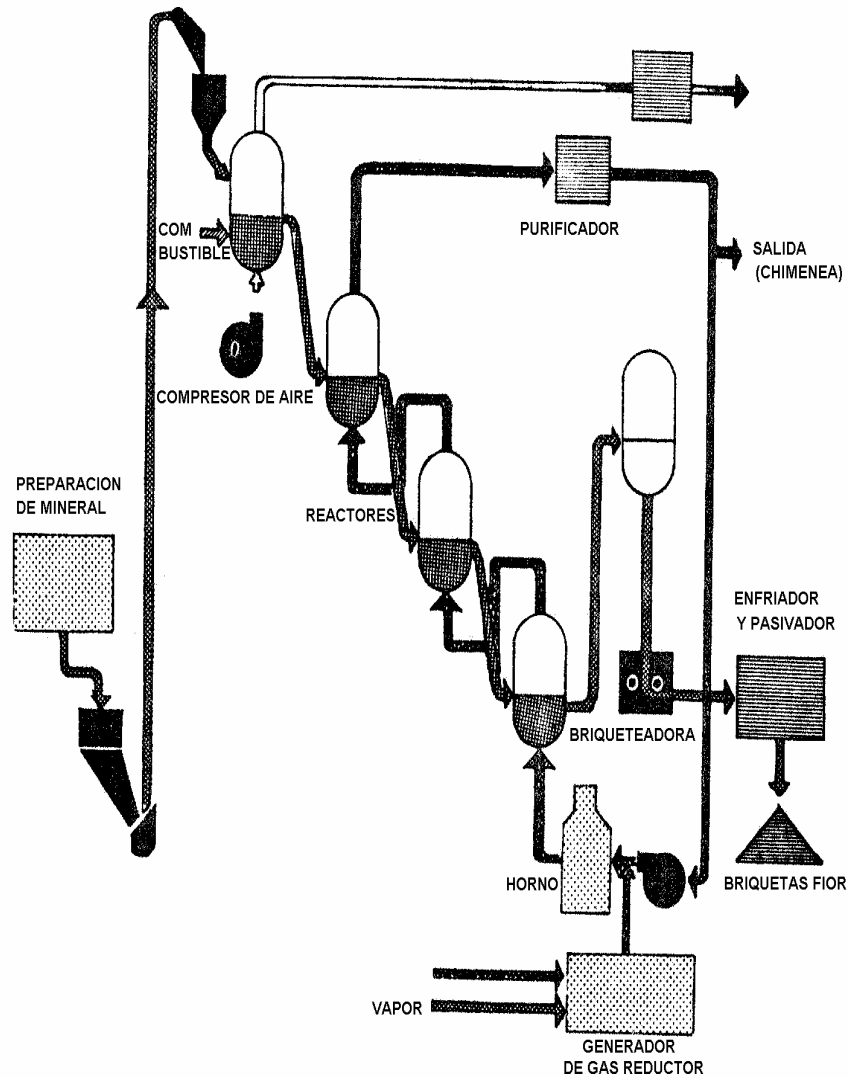


Figura 3: Proceso FIOR de Reducción Directa (Venezuela)

9.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Los procedimientos de reducción directa presentan diversas ventajas, pero en cambio su aplicación práctica tropieza con un cierto número de inconvenientes.

Capacidad limitada de los hornos (500-1000 t. diarias) menor que los altos hornos. Pero muy convenientes para países que comienzan a desarrollar su industria siderúrgica.

Contaminación ambiental Hornos a gas natural no son contaminantes, ya que el gas no contiene azufre. Hornos giratorios emiten gran cantidad de polvo.



Se puede usar carbón de menor calidad, importante para los países latinoamericanos que todos deben importar carbón para obtener buen coque para alto horno, salvo Colombia, o Brasil y Argentina que usan carbón vegetal.

Costo de instalación menores que los de un alto horno por tonelada producida.

9.6. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS PRODUCTOS

Los productos prerreducidos poseen la grave desventaja de reoxidarse muy rápidamente con fuerte desprendimiento de calor (piromorfismo). Esta característica tiene por origen la elevada porosidad (gran superficie por unidad de volumen) y elevada reactividad del producto. Por consiguiente es preciso tomar las precauciones necesarias en el almacenamiento y el transporte, especialmente evitando el contacto con agua.

9.7. UTILIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS PREREDUCIDOS

Los productos prerreducidos tienen diversos destinos y principalmente como reemplazo de la utilización de chatarra de acero que en el mundo es cada vez más escasa y de más alto precio:

Acerías con hornos eléctricos de arco

Carga complementaria para el alto horno

Carga para cubilotes de fundición

Reemplazo de la chatarra de acero en la cementación de cobre.

Como carga de reemplazo de la chatarra para bajar la temperatura en los convertidores L.D.