

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINERA Y METALÚRGICA**



**FABRICACION DE ACERO EN
CONVERTIDORES AL OXIGENO – LD**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

PAUL CANO PRADO

LIMA – PERU

2009

INDICE

CAPITULO I.- INTRODUCCION A LOS PROCESOS SIDERURGICOS

- 1.1. HISTORIA – CONTEXTO
- 1.2. ETAPAS DEL PROCESAMIENTO SIDERURGICO
- 1.3. PROCESO ALTO HORNO
- 1.4. INTRODUCCION AL PROCESO LD

CAPITULO II.- ANTECEDENTES

- 2.1. PRODUCCION Y CONSUMO DE ACERO EN EL MUNDO
 - 2.1.1. MAYORES PRODUCTORES MUNDIALES DE ACERO
 - 2.1.2. CONSUMO PER CAPITA DE ACERO BRUTO
 - 2.1.3. PRODUCCION DE ACERO EN AMERICA LATINA
- 2.2. RESERVAS Y PRODUCCION DE PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS EN EL MUNDO

CAPITULO III.- OPERACIÓN DE AFINO DE ACERO

- 3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO
 - 3.1.1. AFINO PRIMARIO
 - 3.1.1.1. CONVERTIDOR LD
 - 3.1.1.2. LANZA DE OXIGENO
 - 3.1.1.3. CANALETA DE CHATARRA
 - 3.1.1.4. CUCHARA DE ARRABIO
 - 3.1.1.5. CUCHARA DE ACERO
 - 3.1.1.6. BOTE DE ESCORIA
 - 3.1.1.7. SISTEMA DE CAPTACION Y LIMPIEZA DE GASES
 - 3.1.1.8. SUB-LANZA
 - 3.1.1.9. SOPLO COMBINADO

3.2. CICLO DE OPERACIONES EN EL CONVERTIDOR LD

3.2.1. CARGA

3.2.2. SOPLO

3.2.3. MUESTREO Y ACCIONES CORRECTIVAS

3.2.4. SANGRADO DE ACERO

3.2.5. RETIRO DE ESCORIA

3.3. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

3.3.1. ARRABIO LÍQUIDO

3.3.2. CHATARRA

3.3.3. FUNDENTES

3.3.4. OXIGENO

3.3.5. REFRACTARIOS

3.4. REACCIONES DE AFINO / FORMACION DE ESCORIA

3.4.1. DESCARBURACION

3.4.2. DESILICIADO

3.4.3. DESFOSFORACION

3.4.4. DESULFURACION

3.4.5. OXIDACION DE MANGANESO

3.4.6. OXIDACION DE FIERRO

3.4.7. DISOLUCION DE LA CAL

3.4.8. PADRON DE SOPLO

3.5. CONTROL DE PROCESO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

RESUMEN

El informe presenta, en su primer capítulo, una introducción a los procesos siderúrgicos, donde se tocan temas como su historia, contexto y etapas del procesamiento siderúrgico, así como una descripción resumida del proceso del Alto Horno y una introducción al proceso de los Convertidores LD.

El segundo capítulo, se refiere a los antecedentes, donde se muestran estadísticas de los mayores productores y consumidores de acero en el mundo, así como las mayores reservas y producción de las principales materias primas usadas para el procesamiento siderúrgico, entre otros.

En el tercer capítulo, se presenta detalladamente la operación de afinado de acero en los Convertidores LD, donde se hace una minuciosa descripción del proceso. Se detallan cada una de las etapas del ciclo de operaciones en un Convertidor LD, se definen las materias primas usadas, se describen las reacciones de afinado y se comentan resumidamente los modelos de control existentes.

Finalmente, se dan las conclusiones y recomendaciones del informe, mientras que como anexos, se exponen los proyectos de mejora realizados en la Planta de Acería LD de Siderperu y también los que quedaron en stand-by por la coyuntura económica; estos proyectos fueron afianzados por el curso de la ABM llevado en Brasil, así como la visita a la Planta de Acería LD de Gerdau-Açominas.

CAPITULO I.

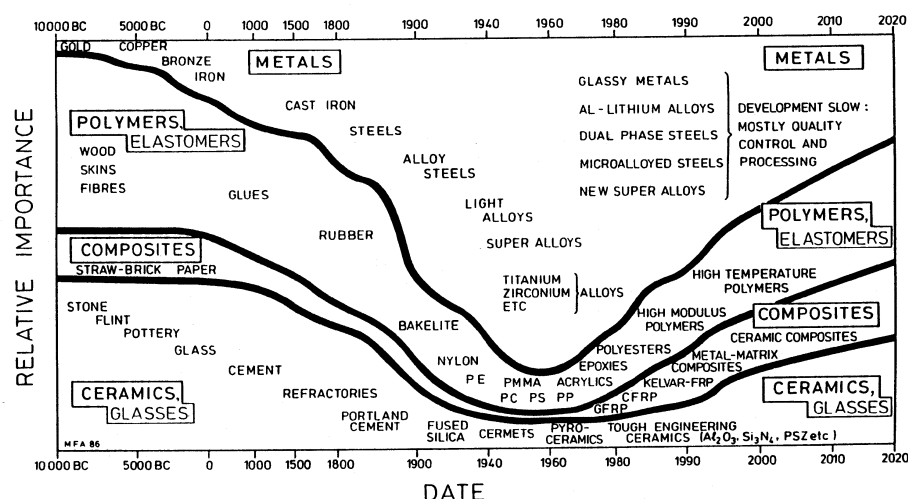
INTRODUCCION A LOS PROCESOS SIDERURGICOS

1.1. HISTORIA – CONTEXTO

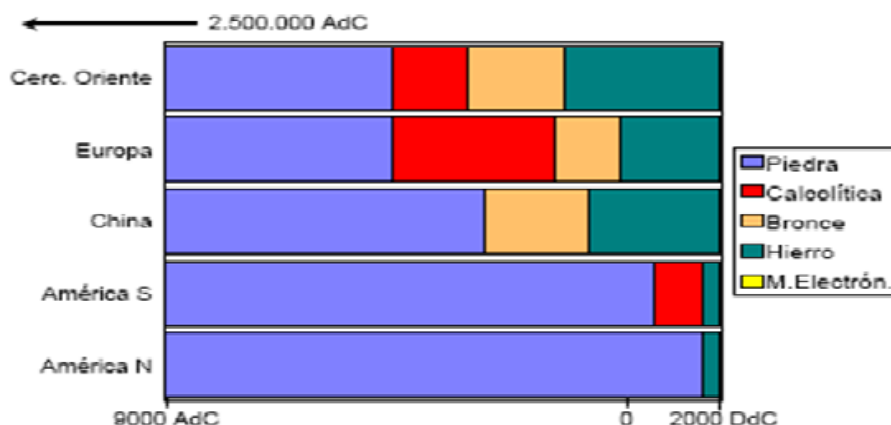
Los primeros contactos del hombre con el metal hierro fueron a partir del hierro meteorito: alrededor de un tercio de los meteoritos que alcancen la superficie de la tierra es de hierro, con contenidos variables de níquel. Desde tiempos remotos el hombre los utilizaba en la fabricación de herramientas, adornos y armas. En diversas lenguas la palabra que designa el metal hierro tienes significado equivalente al “metal que vino del cielo”.

La metalurgia es el conjunto de tratamientos físicos y químicos a que son sometidos los minerales para la extracción de los metales; surgió hace mas de 6 mil años en el Oriente Próximo y el bronce fue el material metálico dominante en el inicio. De acuerdo con antiguos relatos, el primer pueblo en usar el hierro, sistemáticamente, en la fabricación de herramientas y armas fueron los chalibas, una tribu Hitita de la región donde hoy es Armenia, entre 1200 a.C. y 1400 a.C. tenían el monopolio del secreto de la fabricación del hierro; con eso, el Imperio Hitita fue capaz de extender sus dominios por Mesopotamia. La historia oficial fija, aproximadamente, en 1000 años a.C. el inicio de la Edad del Hierro, posterior a la Edad del Bronce. Ese inicio no ocurrió de forma uniforme en las diferentes regiones; con origen en el Oriente y después diseminándose por Europa, probablemente la metalurgia del hierro también surgió de forma independiente en China, India y en África (que no tuvo Edad de Bronce), al paso que en Oceanía y en las America la metalurgia del hierro solo llego con el conquistador europeo.

En sus 3000 años “oficiales” de existencia, el proceso siderúrgico de transformación del mineral de hierro en productos de acero evolucionó junto con la civilización, pero su esencia aun es la misma: se usa una fuente de carbono (carbón vegetal o coque) reaccionando con un soplo de aire para extraer el hierro del mineral y para suministrar la energía necesaria al proceso y el hierro obtenido es trabajado térmica y mecánicamente para obtención del producto final.



Grafica #01: Uso de los materiales en el tiempo.



Grafica #02: Desarrollo de las Edades en cada continente. En America la edad del hierro llega con el arribo de los europeos, luego de 1492.

HIERRO

Hierro, presente en grandes cantidades en la corteza terrestre. Difícil de encontrar en estado puro, considerado en un inicio más precioso que el oro.

El primer contacto de los humanos con el hierro fue en su mayoría con meteoritos. Los sumerios llamaban al hierro “*Metal pesado*” y los egipcios “*Cobre negro del cielo*”. En el Medio Oriente se apreciaba más el hierro que el oro debido a su “origen celestial”, “*sidus*” significa estrella en latín.

El hierro era utilizado para joyería y armas como dagas, reservadas para los gobernantes. Se prohibía el comercio del hierro.

Con el aumento de los avances en la tecnología metalúrgica el precio del hierro se redujo abismalmente. En el siglo 19 A.C, 40 onzas de plata compraban una onza de hierro. En el siglo 17 A.C, una onza de Plata compraba ahora 2000 onzas de Hierro: paso de exótico a metal de trabajo.

ACERO

Alrededor del principio del primer milenio A.C, los metalurgistas aprenden a extraer el mineral de hierro y transformarlo en *acero*. Se comienza a utilizar en aplicaciones de alta resistencia. Comienza la edad de Hierro.

La palabra “steel” (acero) viene del antiguo teutón “stah” que significa “ser rígido” y aún en nuestros días las palabras hierro y acero son sinónimos de fuerza. La propaganda nazi regularmente invocaba estas palabras “el puño de hierro” y el “pacto de acero” entre Mussolini y Hitler. Y Josef Visarionovich Dzhugashvili se cambió el nombre a “Stalin” o “hombre de acero” para gobernar la unión soviética.

1.2. ETAPAS DEL PROCESAMIENTO SIDERURGICO

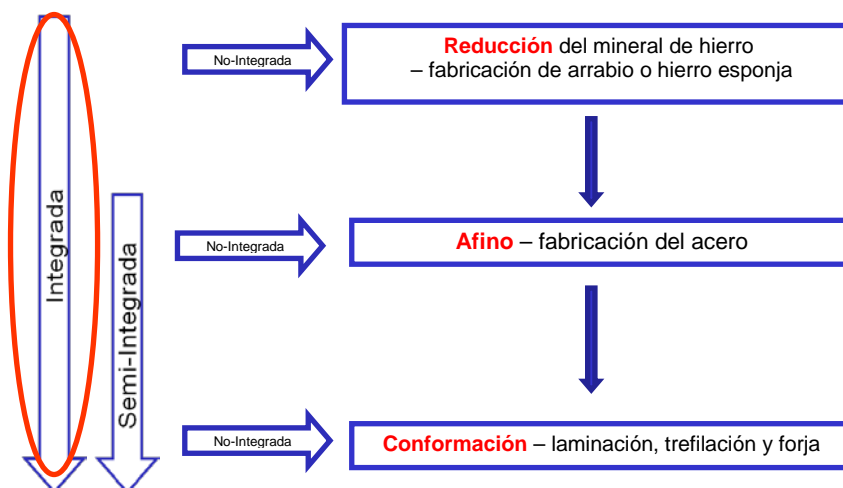
Las actuales plantas siderúrgicas pueden ser divididas en 2 grandes grupos: Plantas Integradas y Plantas Semi-Integradas.

Planta Integrada (grafica #04) es aquella cuyo acero es obtenido a partir del hierro primario, es decir, la materia prima es el mineral de hierro, que es transformado en hierro en la propia planta, en los altos hornos: el producto de los altos hornos, llamado hierro-arrabio, es transformado en acero a través de la operación de conversión.

La Planta Semi-Integrada (grafica #05) es aquella cuyo acero es obtenido a partir del hierro secundario, es decir, la materia prima es chatarra de acero, no siendo necesaria la etapa de reducción de mineral de hierro. La chatarra es transformada nuevamente en acero comercial, mediante el uso de hornos eléctricos de fusión; son recicladores de acero.

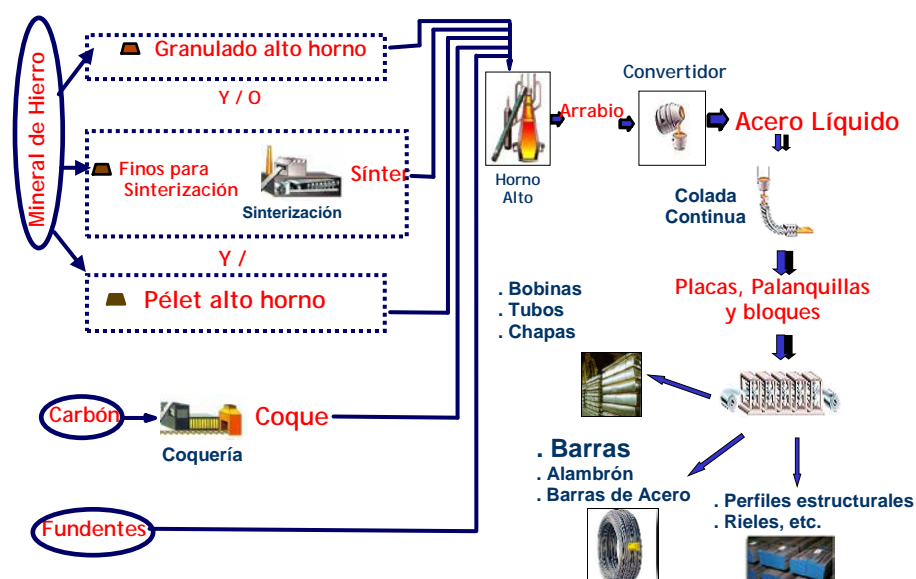
En una moderna Planta Siderúrgica Integrada, el proceso que va desde las materias primas al producto final esta constituido por las siguientes etapas principales: Extracción del hierro de su mineral en los altos hornos; las conversión del hierro arrabio, producto intermedio en acero; las fundición del acero liquido para solidificar en forma conveniente en las siguientes operaciones; y finalmente, la conformación del metal en la forma de producto.

En la Siderurgia Semi-integrada, el proceso comienza con la fusión de chatarra de acero en horno eléctrico a arco y después sigue básicamente el mismo procedimiento de las integradas.



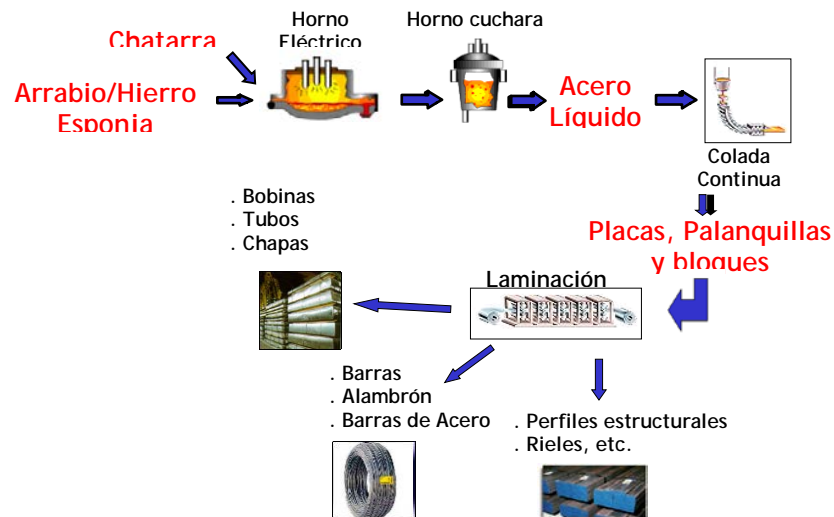
Grafica #03: Plantas Siderúrgicas

Plantas Integradas: Proceso de fabricación constituido por las etapas de Reducción, Refinado y Conformación. Parten del mineral de hierro para la producción del acero. Responsable por la mayor parte del acero fabricado en el mundo.



Grafica #04: Plantas Integradas

Plantas Semi-Integradas: Proceso de fabricación constituido por las etapas de Afino y Conformación. Parten de la chatarra y/o del Hierro Esponja y del Arrabio para la producción del acero.



Grafica #05: Plantas Semi-Integradas

Plantas no integradas: Proceso de fabricación constituido de una etapa del proceso productivo.

Ejemplo:

- Reducción (Productores Independientes de Arrabio);
- Conformación (Empresas Relaminadoras de Acero).

Observación:

“Mini-Mills o Market-Mills son Plantas Siderúrgicas que obtienen sus materias primas y comercializan sus productos, principalmente en el mercado regional donde están implantadas.”

1.3. PROCESO ALTO HORNO

El Proceso de Alto Horno domina el escenario mundial de producción de hierro líquido para la producción de acero. Este predominio se ha mantenido durante muchos años, principalmente debido a los continuos desarrollos ocurridos, especialmente, a partir de 1970, con proyectos y tecnologías operacional y de mantenimiento.

Estos desarrollos llevaron a aumentos significativos de productividad, operación continua por largo tiempo, acentuada reducción del fuel rate y el uso de otros reductores, tales como, el gas natural y el carbón pulverizado.

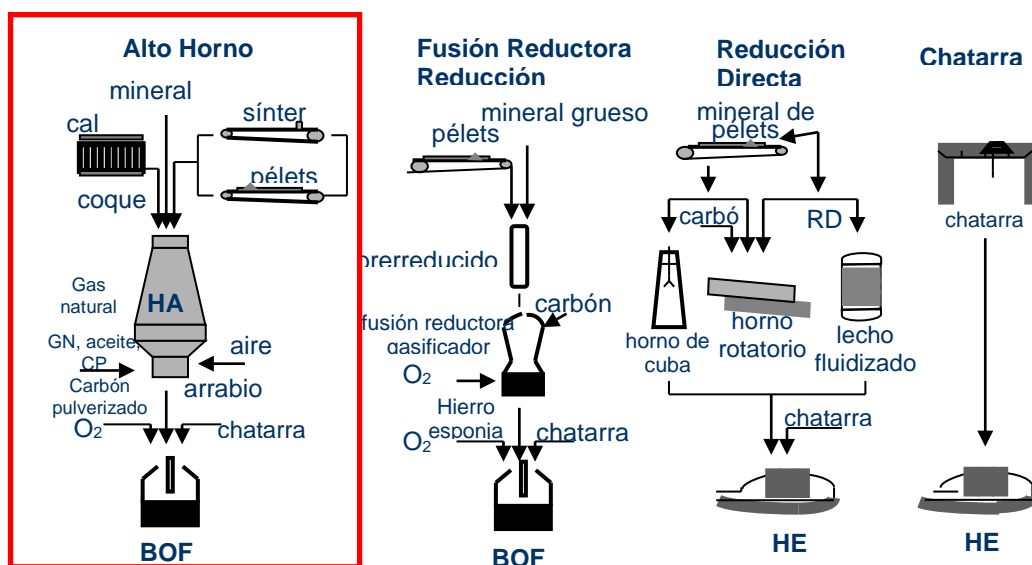
Entre tanto, existen algunas desventajas en el Proceso de Alto Horno, principalmente, centradas en la necesidad de unidades complementarias de preparación de materias primas, como el horno de coquización y la sinterización, que implican elevadas inversiones adicionales, además de algunos problemas ambientales. Esto abrió espacio para la investigación y desarrollos de procesos alternativos denominados generalmente de “fusión reductora”. A pesar de eso, debido a su elevada eficiencia energética, capacidad de producción, evolución tecnológica y flexibilidad operacional, el Alto Horno entra en este nuevo siglo mas competitivo que nunca y nuevas unidades están siendo construidas en Brasil y en el mundo.

El Alto Horno es un equipo destinado a producir mineral de hierro en estado líquido a una temperatura de aproximadamente 1.500 °C, con la calidad y cantidad necesarias al buen curso de los procesos productivos subsiguientes. Para esto, el Alto Horno utiliza como materias primas básicas la carga metálica (sinter, pélets, mineral granulado) y el combustible sólido (coque o carbón vegetal) además de fundentes e inyecciones auxiliares (gas natural, carbón pulverizado, etc.).

En una planta siderúrgica integrada a coque, es decir, con todas las etapas básicas del proceso siderúrgico, el sinter es producto en la sinterización y tiene como constituyente principal el mineral de hierro. El coque es

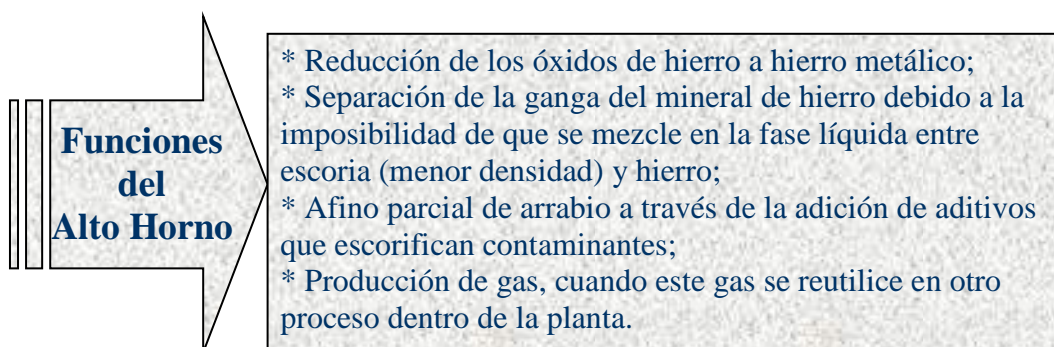
producido en un horno de coquización y es obtenido a través de la pirólisis del carbón mineral.

Otros materiales también pueden ser utilizados, cargados por el tope o inyectados en la región inferior del horno, donde el aire caliente es soplado, generando gases que ascienden en contracorriente con los sólidos cargados por el tope. La grafica #06, muestra un Flujograma parcial de una planta de Alto Horno, destacando las materias primas básicas cargadas y su principal producto.

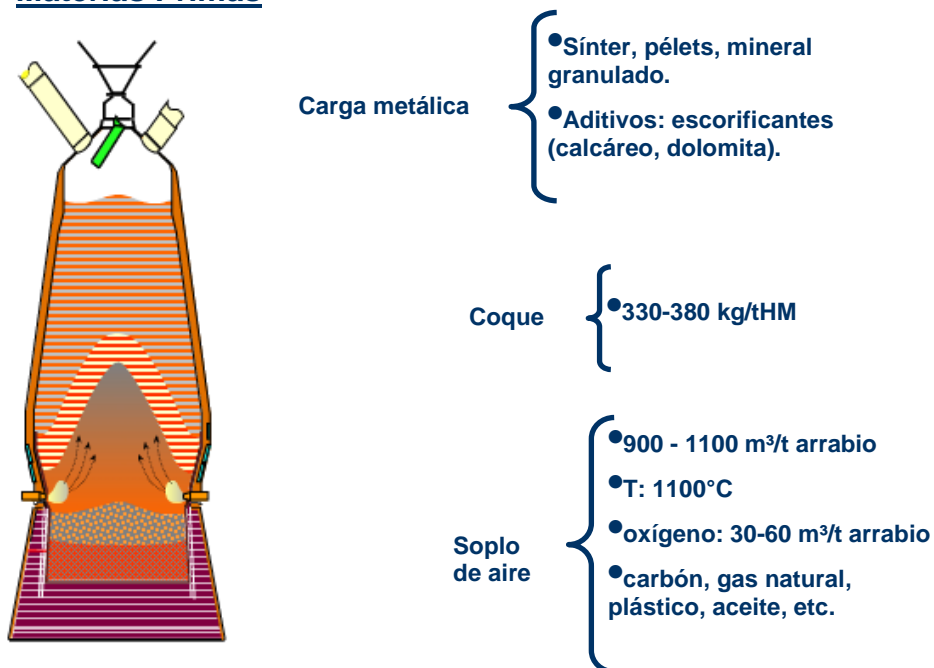


Grafica #06: Flujograma Alto Horno

Alto Horno es un horno de cuba operado continuamente en régimen de contracorriente.

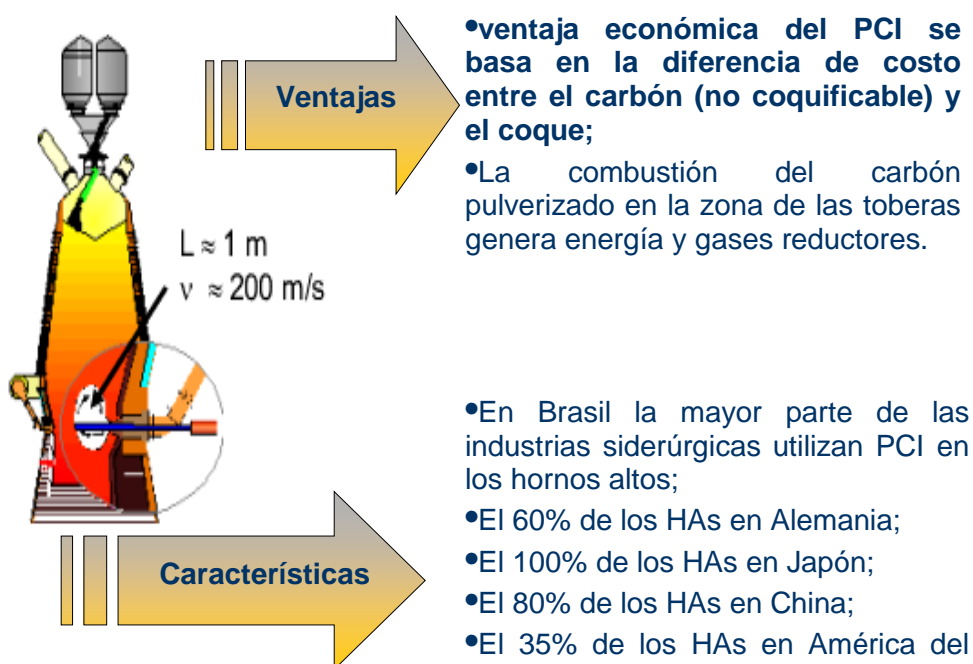


Materias Primas



Grafica #07: Materias Primas en el Alto Horno

Inyección de carbón en las toberas de los hornos altos – PCI (pulverized coal injection)



Grafica #08: PCI en el Alto Horno

Reacciones características en Altos Hornos

Reducción Remoción de Oxígeno del Mineral de Hierro	Combustión y Gasificación
Reacciones Típicas	Reacciones Típicas
<input type="checkbox"/> $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	<input type="checkbox"/> $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$
<input type="checkbox"/> $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$	<input type="checkbox"/> $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$

Arrabio

- Producto intermedio a base de hierro.
- Obtenido en el alto horno.
- Con cerca del 4 % Carbono (C) + Silicio (Si), Manganeso (Mn), Azufre (S) y Fósforo (P), estos dos últimos indeseables.

Usado en estado líquido, en acerías equipadas con convertidor a oxígeno.

En estado sólido, en acerías equipadas con horno eléctrico.



Grafica #09: Arrabio Sólido

Escoria

La escoria fundida es un residuo que, por su insolubilidad y menor densidad, flota en el arrabio y se la conduce por canales, hasta el lugar de enfriamiento. La composición química de la escoria dependerá de las materias primas y del tipo de arrabio fabricado, como se observa en la Tabla #01.

Óxido	(%)
FeO	0,45%
SiO ₂	33,65%
Al ₂ O ₃	12,42%
CaO	41,60%
MgO	7,95%
TiO	0,73%

Tabla #01: C. Q. de la escoria del Alto Horno

Dependiendo de las características de las escorias de alto horno, resultantes del tipo de enfriamiento y composición química, se tienen varias aplicaciones:

- Cemento (gran utilización de la escoria de alto horno granulada);
- Bases de carretera;
- Asfalto;
- Relleno / Terraplenado;
- Agregado para concreto;
- Aplicaciones especiales (lana mineral, material para cubierta, aislamiento, vidrio, filtros, condicionamiento de suelo y productos de concreto).

1.4. INTRODUCCION AL PROCESO LD

El año 2002 marco el 50 aniversario del inicio de operación de la primera Planta de Acería LD en Linz, Austria. El 26 de Noviembre de 1952, la idea revolucionaria de inyección de oxígeno, de alta pureza, para la producción de acero en escala industrial se torno real en un convertidor, con capacidad de 30 ton. por colada, en la Planta de Acería 1 de Voest Alpine.

Investigaciones en paralelo sobre el nuevo proceso de afino al oxigeno, realizadas en la Planta de Donawitz, también en Austria, llevo a la introducción de la Acería LD, en el año 1953. De esta forma, la abreviación LD, que paso a denominar al nuevo proceso de afino de acero, es oriunda de los nombres de las ciudades (Linz y Donawitz), donde el mismo fue inicialmente implantado.

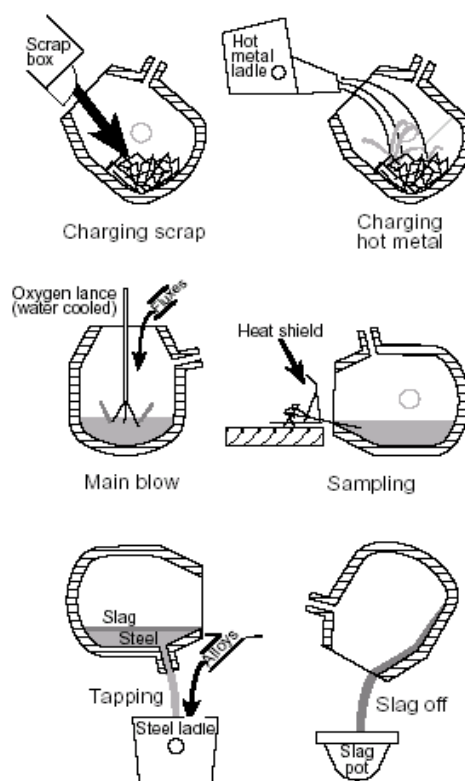
La primera Acería LD fuera de Austria entro en operación en Agosto de 1954 en la Planta de Dominion Foundries en Hamilton, Canadá y la segunda en Diciembre del mismo año en la Planta de Mclouth Steel Corporation en USA. En comparación con los hornos Siemens-Martin, los famosos “hornos de hogar abierto”, la instalación del proceso LD tuvo ventajas considerables, tales como:

- Mejora significativa en calidad de acero,
- Mayor reproducibilidad de resultados (calidad de acero mas constante),
- Reducción significativa de tiempos operacionales.

El Ciclo de Proceso en un LD, definido por la colada a colada (“tap to tap”) es por lo menos 12 veces mas rápido que en los hornos Siemens-Martin,

reducción de 8 a 9 horas en “open hearth furnace” a un máximo de 45 minutos.

El vaso del convertidor LD es de forma de una “pera” de carcasa de acero con revestimiento especial de ladrillos refractarios. El vaso es cerrado en el fondo y abierto en la parte superior y posee un mecanismo de basculamiento que permite colocarlo en diferentes posiciones de carga, soplo y sangrado o escoriado, conforme se muestra en la grafica #10.



Grafica #10: Operaciones en el Convertidor LD

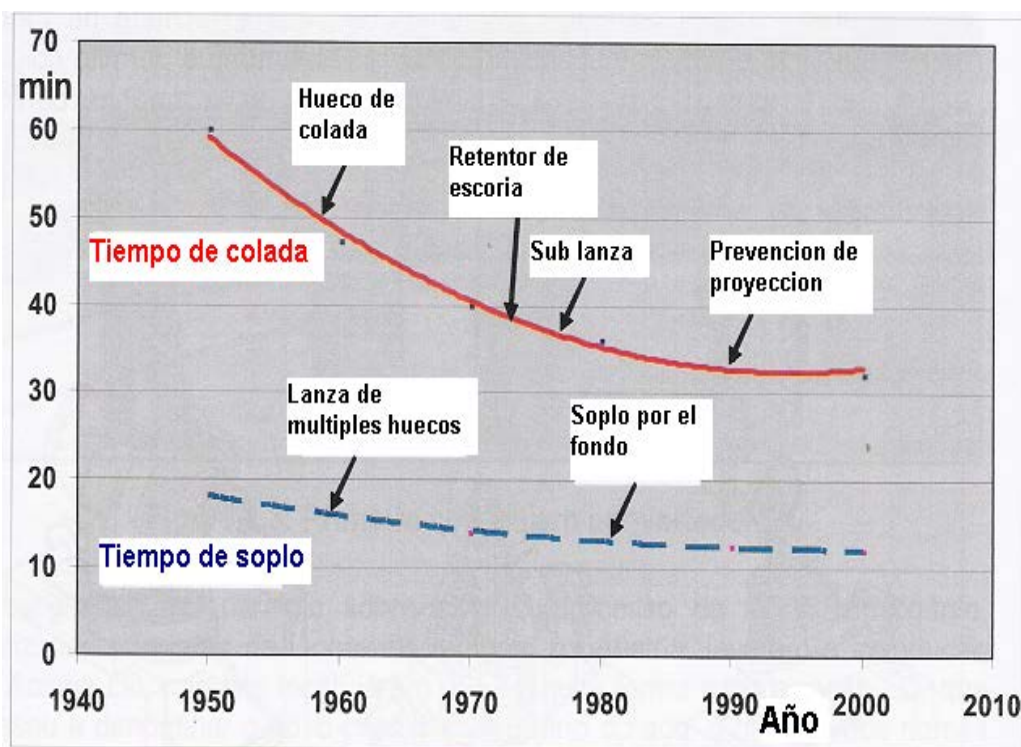
Después del carguío de arrabio liquido y chatarra, el convertidor retorna a su posición vertical para el soplo con oxigeno, que es logrado con la introducción de una lanza refrigerada con agua dentro del horno.

Oxigeno puro es soplado en el baño que promueve la agitación del metal y oxidación de las impurezas contenidas en el arrabio liquido. Cal y otros

fundentes son adicionados para combinarse con las impurezas oxidadas y forma la escoria.

Después del soplo de oxígeno, se chequea la temperatura y composición química del acero. Entonces el acero es vaciado en la cuchara, por una piquera de colada. Durante la colada se adicionan las ferroaleaciones para el ajuste de la composición química dentro de los parámetros especificados.

La escoria es vaciada en un bote, para ser procesada o colocada a disposición. El proceso original de soplo de oxígeno por el tope a sido mejorado de forma drástica, por la introducción de “paquetes de modernización” consistiendo de burbujeamiento de gas inerte por el fondo, retentor de escoria, automatización con sub-lanza y sistema de prevención de proyección. En la grafica #11, son mostradas las evoluciones del proceso LD y sus principales modificaciones.



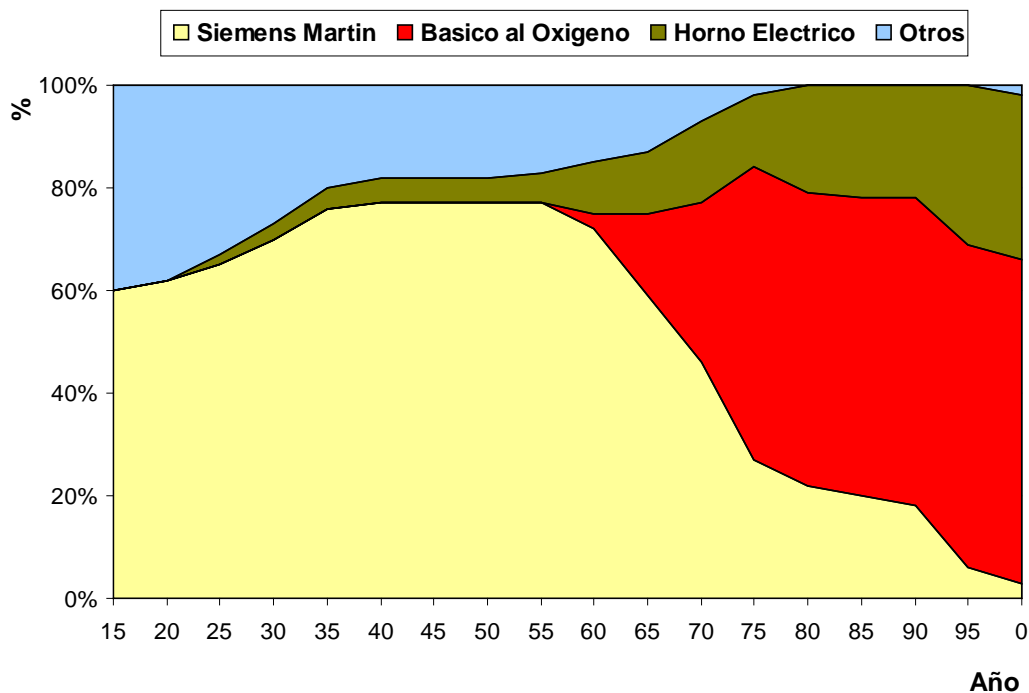
Gráfica #11: Evolución del Proceso LD

Con la aparición de diversos procesos derivados al LD, principalmente con la introducción del soplo por el fondo, “Basic Oxygen Furnace – BOF” o Horno Básico al Oxígeno, paso a ser el nombre genérico dado a todos los procesos de fabricación de acero, en que el oxígeno gaseoso es utilizado como agente primario de generación autotérmica de calentamiento, por la oxidación de impurezas disueltas en la carga metálica.

Algunas acerías poseen también soplo de oxígeno o de otros gases por el fondo del convertidor, llamado “soplo combinado”, que logran una mayor cinética de reacción, por la mayor agitación del baño metálico y la escoria.

En este proceso, el arrabio líquido es parte predominante de la carga metálica, pudiendo constituir el 100% de la misma, siendo utilizado normalmente en proporciones que varían de 75% a 95%.

Considerando 50 años atrás, los procesos Thomas (Basic Bessemer) y el “open hearth” (Siemens-Martin) eran los procesos dominantes en la producción de acero, especialmente en Europa, ahora, el retrato actual es totalmente diferente, pues más del 60% de la producción mundial de acero se realiza por la vía de afinado al oxígeno, como puede ser visto en la gráfica #12, que representa la evolución de la participación de los diversos tipos de procesos en la fabricación de acero.



Grafica #12: Participación de Procesos en la Producción de Acero

También se puede observar que la participación de los hornos eléctricos está en crecimiento y ya contabiliza un 30% de la producción mundial.

Con los hornos básicos al oxígeno, se inició una nueva fase en la siderurgia mundial, con la instalación de grandes complejos siderúrgicos, inclusive en Brasil. Se efectuaron desarrollos considerables, no solo en cuanto a capacidad de los convertidores, que hoy alcanzan las 400 ton., sino también en su forma, número de huecos de la lanza de oxígeno, calidad de refractarios y otros, además de las mejoras en técnicas operacionales.

No cabe duda que estos grandes complejos siderúrgicos fueron los responsables del expresivo aumento de la producción de acero en las décadas de los 70 y 80.

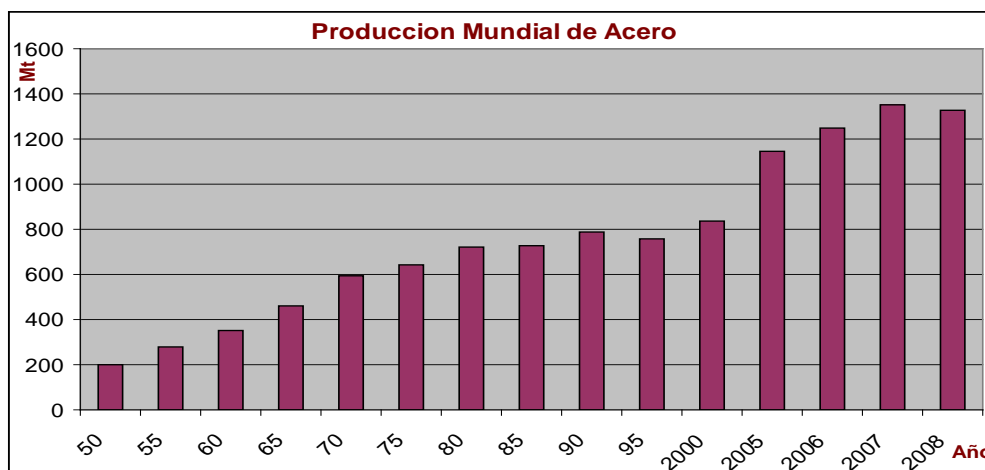
CAPITULO II.

ANTECEDENTES

2.1. PRODUCCION Y CONSUMO DE ACERO EN EL MUNDO

En la grafica #13, se observa la evolución de la producción mundial de acero bruto en el mundo. Se puede ver un crecimiento continuo en el periodo de 1950 a 1980, con media anual del orden de 17,5 Mt, estabilidad en la década del 80 y 90, luego el aumento medio de producción de acero en el mundo cayó a valores debajo de 4 Mt al año, y el gran impulso observado a partir del año 2000, cuando la media del crecimiento anual alcanzo los 70 Mt, con los últimos años llegando encima de los 100 Mt.

De esta forma, en el 2004 fue pasada por primera vez la barrera del billón de toneladas de acero bruto, en el 2006 logrando 1.239,5 Mt y en el 2007 teniendo un aumento de 8.5% en relación al año anterior llegando 1.344,3 Mt. La crisis financiera mundial y la caída del precio de los metales, repercutió fuertemente en el último trimestre del 2008, por lo que la producción de ese año disminuyo con respecto al 2007 a 1.329,7 Mt.

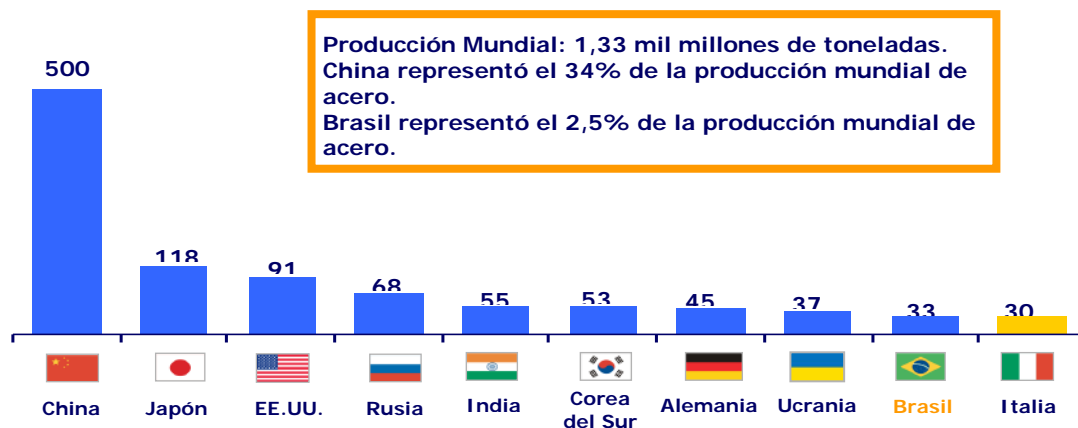


Grafica #13: Participación de Procesos en la Producción de Acero

La tabla #02 y grafica # 14 presentan los países con mayor producción de acero, donde se destaca el crecimiento de China, además de la estabilización de los EEUU y algunos países de Europa. También se puede observar el crecimiento de India y Corea del Sur, a pesar de la crisis financiera mundial.

País		2008		2007		2006		2005		2004		2003		2002
China	1	500,488	1	489,2	1	422,7		349,4		280,5		222,4		182,2
Japón	2	118,738	2	120,2	2	116,2		112,5		112,7		110,5		107,7
EE.UU.	3	91,490	3	98,6	3	98,2		93,3		99,7		93,7		91,6
Rusia	4	68,510	4	72,4	4	70,8		66,1		65,6		61,5		59,8
India	5	55,050	5	53,1	5	49,5		38,1		32,6		31,8		28,8
Corea el Sur	6	53,488	6	51,5	6	48,5		47,8		47,5		46,3		45,4
Alemania	7	45,833	7	48,6	7	47,2		44,5		46,4		44,8		45
Ucrania	8	37,107	8	42,8	8	40,9		38,6		38,7		36,9		34,1
Brasil	9	33,713	9	33,8	10	30,9		31,6		32,9		31,1		29,6
Italia	10	30,477	10	31,5	9	31,6		29,2		28,5		26,8		26,1
Turquía	11	26,410	11	25,8	11	23,3		21		20,5		18,3		16,5
Taiwan	12	20,210	12	20,9	12	20,1		18,6		19,6		18,8		18,2
España	13	19,048	14	19	14	18,4		17,8		17,6		16,3		16,4
Francia	14	17,874	13	19,2	13	19,9		19,5		20,8		19,8		20,3
México	15	17,615	15	17,6	15	16,4		16,2		16,7		15,1		14
Canadá	16	15,130	16	15,6	16	15,5		15,3		16,3		15,9		16
Reino Unido	17	13,538	17	14,3	17	13,9		13,2		13,8		13,3		11,7
Otros		134,112		170,1		165,3		156,6		156,1		145,8		140,4
Total		1.329,7		1.344,2		1.250,7		1.129,3		1.066,5		969,1		903,8

Tabla #02: Países con mayor producción de Acero (Mt)



Grafica #14: Países con mayor producción de Acero (Mt)

2.1.1. MAYORES PRODUCTORES MUNDIALES DE ACERO

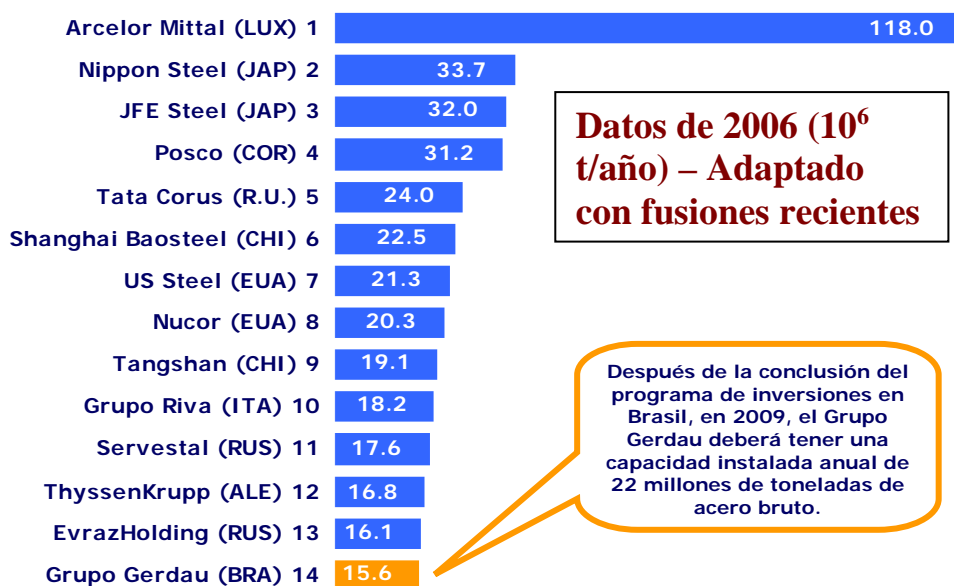
Arcelor Mittal es el mayor productor mundial, con capacidad de producción anual encima de los 110 millones de toneladas de acero. La segunda posición es disputada por 3 grandes grupos, con producción encima de los 30 Mt anuales, estos son Nippon Steel y JFE de Japón y Posco de Corea del Sur.

El Grupo Gerdau (dueños de Siderperu) ocupa la décimo tercera posición con 18.6 Mt.

La tabla #03 y la grafica #15 presentan las producciones de los mayores grupos siderúrgicos, para los años 2006 y 2007.

Empresa	Producción (10 ⁶ t) 2007		Producción (10 ⁶ t) 2006	
Mittal-Arcelor Steel (Global)	1	116,4	1	117
Nippon Steel (JAP)	2	35,7	2	34,7
JFE (JAP)	3	34	3	32
POSCO (COR)	4	31,1	4	30,1
Shanghai Baosteel Group	5	28,6	6	22,5
Tata Steel-Corus (IND)	6	26,5	45	6,4
Anshan-Benxi	7	23,6	5	22,6
Jiangsu Shagang	8	22,9	17	14,6
Tangshan (CHI)	9	22,8	9	19,1
US Steel Corporation	10	21,5	7	21,2
Wuhan	11	20,2	16	15,1
Nucor	12	20,0	8	20,3
Gerdau (BRA)	13	18,6	14	15,6
Riva	14	17,9	11	18,2
Severstal	15	17,3	12	17,5

Tabla #03: Empresas con mayor producción de Acero (Mt)



Grafica #15: Empresas con mayor producción de Acero (Mt)

2.1.2. CONSUMO PER CAPITA DE ACERO BRUTO

Consumo Per Capita de Acero Bruto 2005 – kg/hab. año

En la tabla #04 observamos el consumo en Kg. de acero bruto por habitante al año, siendo los países asiáticos como Corea del Sur y Japón los mayores consumidores de acero por habitante.

País	2005 Kg/hab. año	Consumo 10 ⁶ t/año	Población 10 ⁶ hab.
Corea del Sur	1014,7	49,00	47,8
Japón	648,5	82,90	128,1
Italia	569,4	33,39	58,1
Alemania	468,7	38,65	82,7
EE.UU.	382,1	113,26	298,2
México	217,3	22,43	107,0
China	268,6	350,17	1.315,8
Brasil	101,4	18,68	184,4
Argentina	109,2	4,22	38,7
India	37,6	41,30	1.047,9

Tabla #04: Países Consumidores de Acero (Mt)

Consumo Per Capita de Acero Bruto – Kg/hab. año

Latinoamérica – 2008

País	2008 Kg/hab. año
México	242
Chile	161
Argentina	130
Brasil	129
Colombia	59
Perú	20

Tabla #05: Países Consumidores de Acero en Latinoamérica (Mt)

2.1.3. PRODUCCION DE ACERO EN AMERICA LATINA

La tabla #06 muestra la producción de acero en America Latina al año 2008, teniendo a Brasil como mayor productor con 33,7 Mt, seguido por México con 17,6 Mt.

Importante rescatar que el Perú logro superar la barrera del millón de toneladas de acero en el 2008, produciendo 1,15 Mt y desplazando a Colombia del 5to lugar en Sudamérica.

País	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Brasil	26.717	29.604	31.147	32.909	31.61	30.91	33.782	33.713
México	13.3	14.051	15.128	16.73	16.194	16.465	17.573	17.615
Argentina	4.112	4.363	5.033	5.382	5.382	5.532	5.387	5.543
Venezuela	4.019	4.164	3.93	4.907	4.97	4.864	5.005	4.24
Chile	1.247	1.279	1.377	1.537	1.537	1.626	1.679	1.56
Peru	690	611	669	726	790	896	881	1.15
Colombia	638	664	668	730	842	1.22	1.245	1.125
Otros	1.134	1.523	1.553	0.975	1.398	1.552	1.625	1.385
TOTAL	51.857	56.259	59.505	63.896	62.723	63.065	67.177	66.331

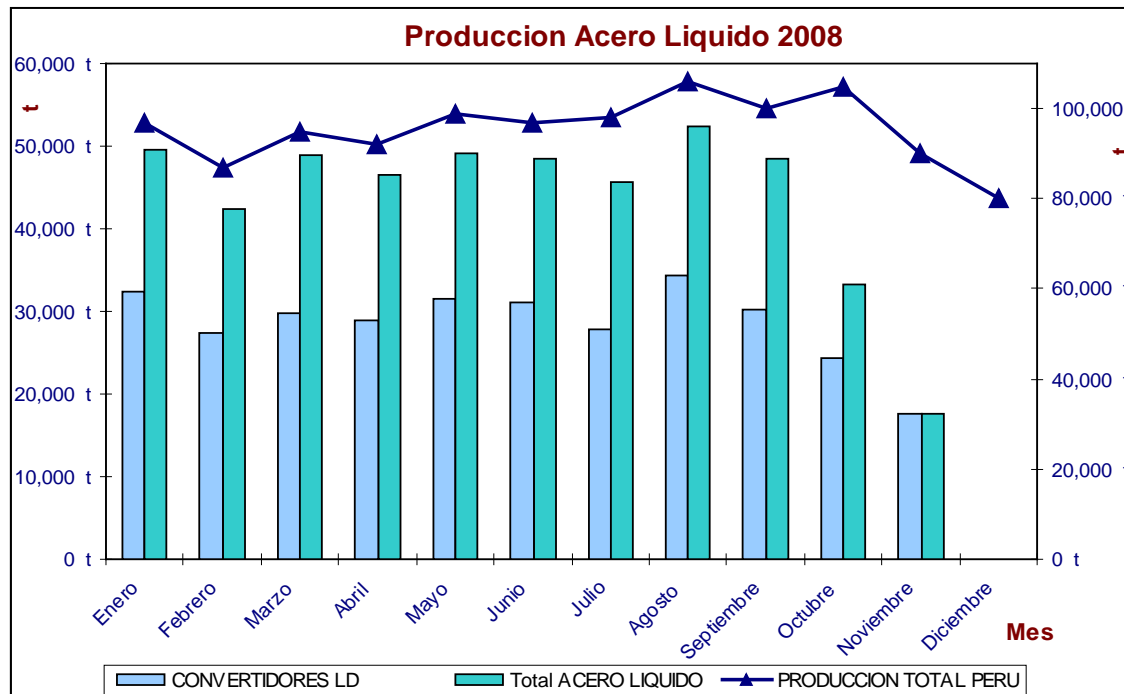
Tabla #06: Producción de Acero Bruto en América Latina (10³ t/año)

En la tabla #07, mostramos la Producción Mensual de Acero Líquido en el 2008: Total Perú, Convertidores LD y Total Acería de Siderperu.

Tabla #07: Países Consumidores de Acero en Latinoamérica (Mt)

Proceso	Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total 2008
CONVERTIDORES LD	PRODUCCIÓN (t)	32,345.03 t	27,442.00 t	29,879.84 t	28,967.79 t	31,510.32 t	31,151.36 t	27,719.23 t	34,319.75 t	30,215.20 t	24,396.22 t	17,647.89 t	0.00 t	315,594.64 t
HORNOS ELECTRICOS	PRODUCCIÓN (t)	17,305.28 t	14,875.30 t	19,037.16 t	17,493.16 t	17,594.03 t	17,433.65 t	18,003.92 t	18,089.00 t	18,176.98 t	8,955.58 t	0.00 t	0.00 t	166,964.06 t
Total ACERO LIQUIDO		49,650.31 t	42,317.31 t	48,916.99 t	46,460.95 t	49,104.35 t	48,585.01 t	45,723.15 t	52,408.75 t	48,392.18 t	33,351.81 t	17,647.89 t	0.00 t	482,558.70 t
PRODUCCION TOTAL PERU		97,000.00 t	87,000.00 t	95,000.00 t	92,000.00 t	99,000.00 t	97,000.00 t	98,000.00 t	106,000.00 t	100,000.00 t	105,000.00 t	90,000.00 t	80,000.00 t	1,150,000.00 t

En la grafica #16, se puede observar claramente las tendencias de producción del 2008. **Grafica #16: Acero Líquido Perú 2008.**



De la grafica, podemos concluir que cuando se lograron altos volúmenes de producción en los Convertidores LD, la producción de la Acería y la del Perú creció proporcionalmente a lo logrado en esta línea de Producción. La producción del Perú es prácticamente la suma de lo producido en Siderperu y Aceros Arequipa, pero siendo la planta integrada Alto Horno-LD de Siderperu la que produce los mayores volúmenes de acero líquido, cualquier parada o mejora se ve influenciada en la producción del país. Por ejemplo, en Febrero paró el Alto Horno, en Agosto se logró record de producción en LD (a su vez record de producción Perú), y desde Noviembre paró la línea AH-LD indefinidamente.

2.2. RESERVAS Y PRODUCCION DE PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS EN EL MUNDO

Reservas Mundiales de Mineral de Hierro en 2005

La tabla #08 muestra las mayores reservas de mineral de hierro en el mundo (en millones de toneladas).

País	10 ⁶ toneladas
Ucrania	68.000
Rusia	56.000
China	46.000
Australia	40.000
Brasil	26.474
Cazaquistán	19.000
EE.UU.	15.000
India	9.800
Suecia	7.800
Venezuela	6.000
Otros	75.926
Total Mundo	370.000

Tabla #08: Países con Mayores Reservas de Mineral de Hierro (Mt)

Producción Mundial de Mineral de Hierro – 10³ t/año

Como se observa en la tabla #09, China encabeza la producción de mineral de hierro con 310 millones de toneladas producidas en el año 2005, como se observa en la siguiente tabla. Brasil se encuentra 2da con 280 millones de toneladas, ligeramente por encima de Australia.

Productor	2004	2005
China	310.000	310.000
Brasil	261.674	280.861
Australia	231.000	280.000
India	121.000	140.000
Rusia	97.000	95.000
Ucrania	66.000	69.000
EE.UU.	55.000	55.000
Total Mundo	1.340.000	1.520.000

Tabla #09: Países Productores de Mineral de Hierro (Mt)

Reservas Mundiales de Carbón Mineral en 2005

La tabla #10 muestra los países con mayores reservas de carbón mineral, situándose Estados Unidos en el 1er lugar con el 27.1% del total de reservas mundiales.

Localidad	Porcentual
Estados Unidos	27.1%
Rusia	17.3%
China	12.6%
India	10.2%
Australia	8.6%
Sudáfrica	5.4%
Otros	13.4%
Total Mundo	100%

Tabla #10: Países con Mayores Reservas de Carbón Mineral (Mt)

Producción Mundial de Carbón Mineral (2005)

En la tabla #11, vemos nuevamente a China en el 1er lugar, esta vez, como productor mundial de carbón mineral, a pesar de solo tener el 12.6% de las reservas de dicho material. Se puede observar también que Brasil no es potencia ni en reserva ni en producción de este tipo de carbón, más si lo es en la producción de carbón vegetal.

Localidad	10 ⁶ t/año
China	2.19
EE.UU.	1.028
India	426
Australia	369
Sudáfrica	247
Rusia	298
Indonesia	135
Brasil	6
Total Mundo	5.852

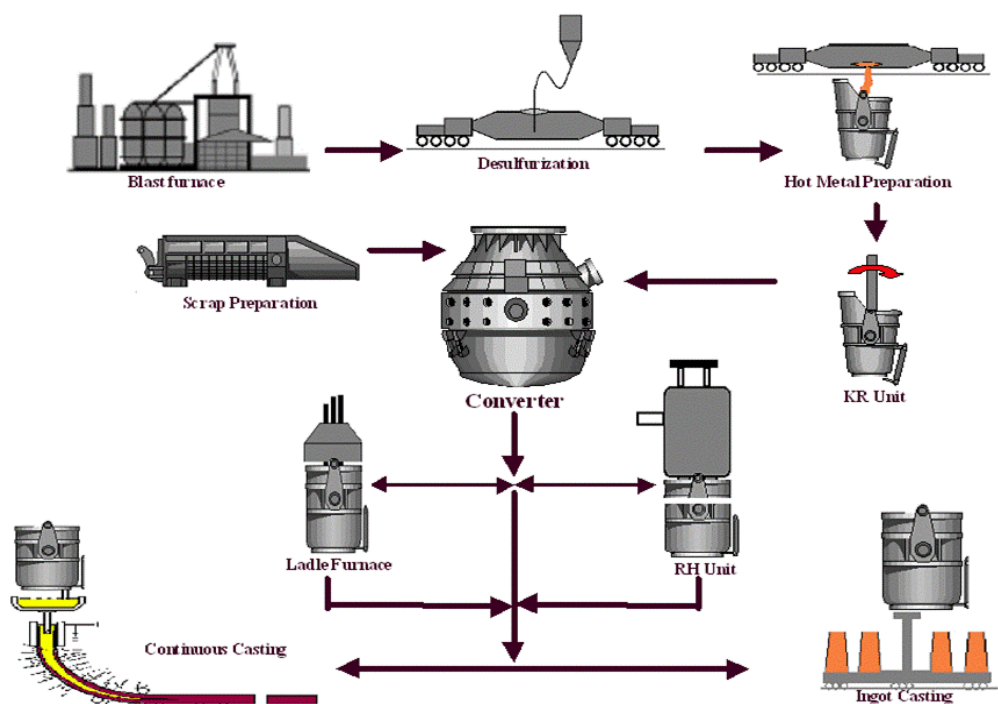
Tabla #11: Países Productores de Carbón Mineral (Mt)

CAPITULO III.

OPERACIÓN DE AFINO DE ACERO

3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

EL proceso LD consiste en el afino de una carga metálica, compuesta de arrabio liquido y chatarra de fierro y acero, a través del sople de oxigeno puro sobre sus superficies. Esto, hecho por medio de una lanza compuesta de tubos de acero con punta de cobre electrolítico y refrigerada con agua. Durante el sople de oxigeno, que dura entre 12 y 20 minutos, son adicionados los fundentes, que forman la escoria del proceso. Al final del sople se hacen mediciones de temperatura y muestras de acero, necesarias para la corrección de la composición química del producto, durante el vaciado a la cuchara. Luego, se procede al afino secundario y al lingoteamiento. La grafica # 17 muestra un Flujoograma de producción de una Acería LD típica.

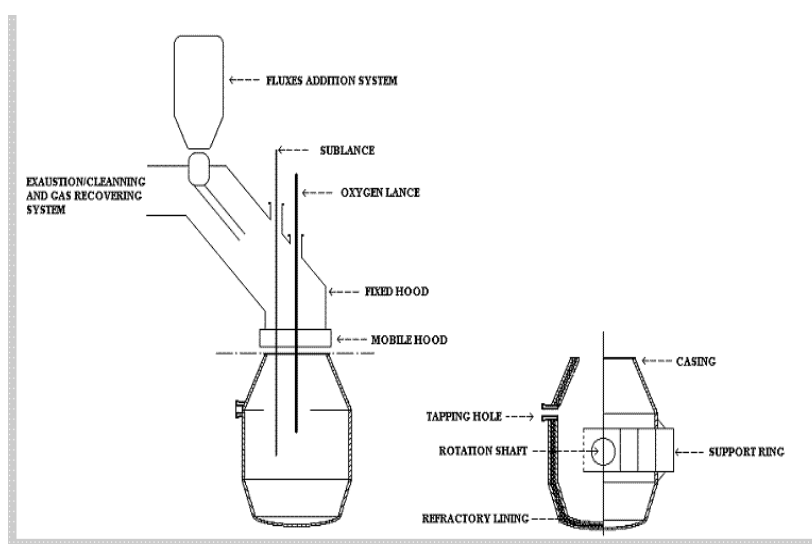


Grafica #17: Flujoograma de Producción Acería LD

3.1.1. AFINO PRIMARIO

3.1.1.1. CONVERTIDOR LD

Equipo donde se procesa y afina la carga metálica. Este compuesto por una carcaza metálica revestida con ladrillos refractarios, soportada por un anillo que posee dos muñones que permiten su basculamiento en 360 °, conforme se muestra en la grafica #18.



Grafica #18: Diagrama esquemático del convertidor LD

El carguío se hace por la boca y el vaciado a través de un hueco de colada que permite una mejor separación metal/escoria. Datos importantes para un proyecto de un convertidor LD, para una mayor facilidad operacional, son el volumen específico (relación volumen/capacidad), que debe ser de 0.9 a 1.0 m³/t, y la relación altura/diámetro, para mejor control de la emulsión metal/gas/escoria formada al iniciar el proceso.

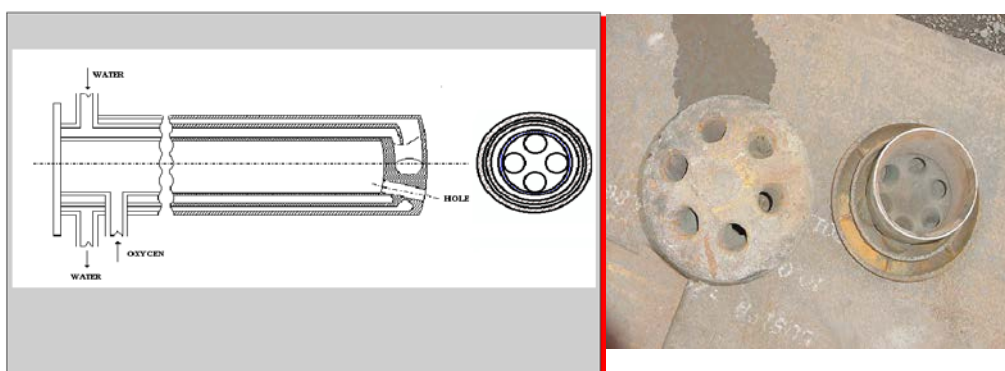
En la grafica #19, se muestra un convertidor LD de 220 ton. de capacidad.



Grafica #19: Convertidor LD

3.1.1.2. LANZA DE OXIGENO

Equipo por donde es soplado el oxígeno para producir las reacciones del proceso. Esta es constituido por 3 tubos concéntricos de acero, a través de los cuales fluye el oxígeno (tubo central), y el agua de refrigeración (medio y externo) conforme se observa en la grafica #20.



Grafica #20: Diagrama esquemático de la lanza de oxígeno

La lanza es sostenida por un cabrestante que permite su movimiento vertical. En la parte inferior de la lanza es acoplada una boquilla de 3 o mas huecos que determinan las condiciones del soplo de oxígeno. Esta boquilla es fabricada con cobre de alta pureza y alta conductividad térmica (grafica #20);

su diseño es función del caudal de oxígeno de trabajo, presión de trabajo, capacidad del convertidor, entre otros factores.

Funciones de la lanza de oxígeno:

- Fuente de oxígeno para eliminación de impurezas,
- Fuente de energía para inducir las reacciones químicas,
- Para una mayor capacidad, manteniendo la productividad, sin aumentar el tiempo de soplo se elevan los caudales de oxígeno.

Condiciones severas de trabajo de la lanza de oxígeno:

- Proximidad al metal líquido,
- Inmersión en emulsión metal – escoria,
- Sujeto a rebotes de chorros de oxígeno,
- Desgaste de huecos en función de altas velocidades de oxígeno, y remoción de champas.

3.1.1.3. CANALETA DE CHATARRA

Equipamiento destinado al carguío de la carga sólida al convertidor. Las canaletas son hechas de placas de acero y su dimensionamiento debe ser compatible con las dimensiones de la boca del convertidor y debe ser tal que permita el carguío de toda la chatarra de una sola vez.



Grafica #21: Canaleta Chatarra

3.1.1.4. CUCHARA DE ARRABIO

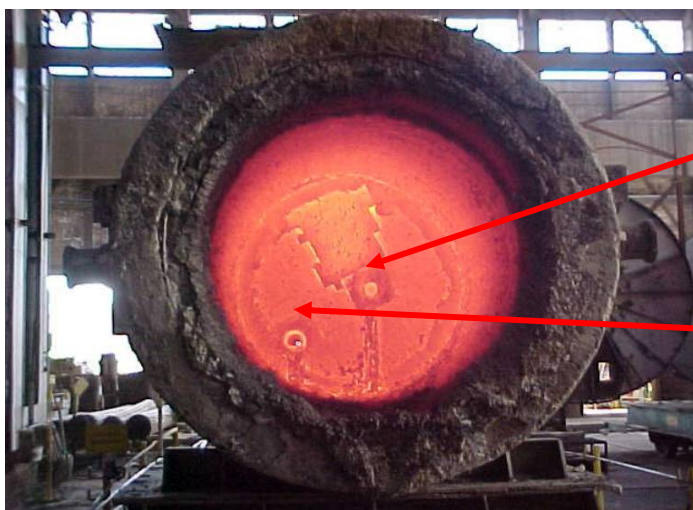
Hecha de placa de acero, revestida con material refractario, posee un pico acentuado utilizado para un óptimo carguío de arrabio líquido al convertidor. Poseen también una válvula en la parte inferior para el control del pase de nitrógeno en el momento de la desulfuración de arrabio en cuchara.



Grafica #22: Cuchara de Arrabio

3.1.1.5. CUCHARA DE ACERO

También fabricadas con placas de acero y revestida con material refractario, poseen una válvula en su parte inferior con control de abertura, por donde fluye el acero líquido para ser lingoteado.



Tapón poroso por donde se burbujea gas inerte

Válvula deslizante controladora del flujo de acero líquido

Grafica #23: Cuchara de Acero

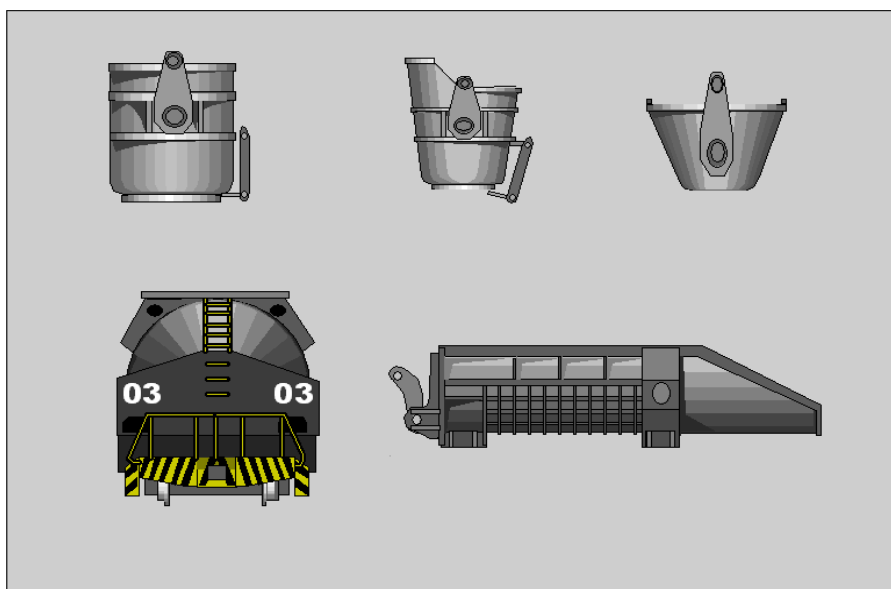
3.1.1.6. BOTE DE ESCORIA

Recipiente utilizado para contener y transportar la escoria generada en el proceso. En algunas acerías se obvia este recipiente y se vacía la escoria directamente del convertidor al piso, el mismo que esta adecuadamente preparado para soportar altas temperaturas.



Grafica #24: Bote de escoria

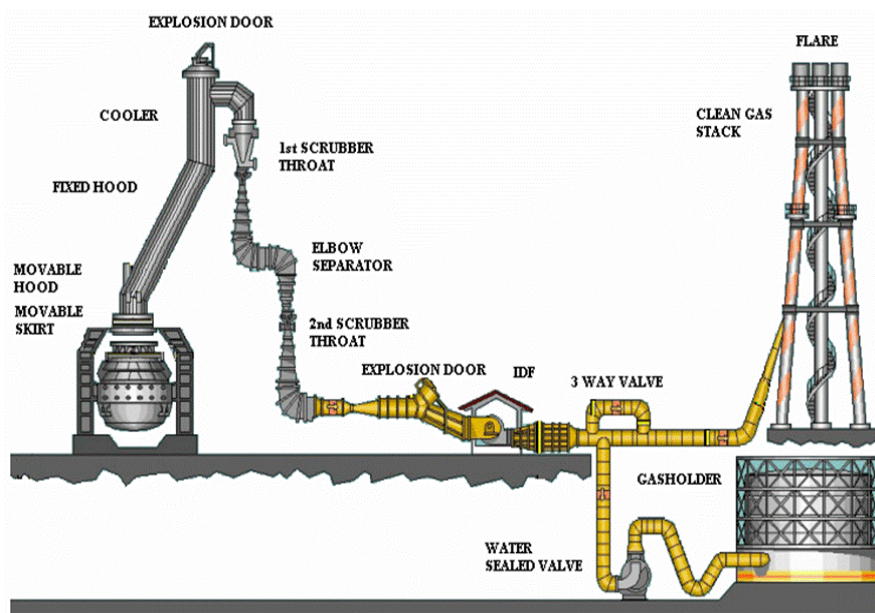
En la grafica #25 se muestran los equipos descritos, además del carro torpedero, usado para el transporte del arrabio líquido de alto horno a Acería.



Grafica #25: Equipos auxiliares en una Acería LD

3.1.1.7. SISTEMA DE CAPTACION Y LIMPIEZA DE GASES

El desarrollo de este sistema tiene como objetivo la limpieza y recuperación de los gases generados durante el afino en LD, de alto poder calorífico, pero con alto grado de partículas en suspensión. Este sistema esta esquematizado en la grafica #26.



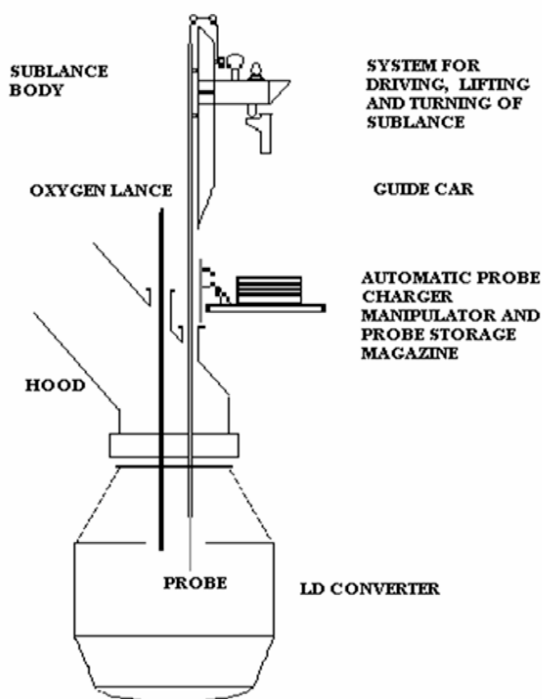
Grafica #26: Sistema de Lavado de Gases

Al iniciar el soplo, una falda móvil reduce el espacio entre la boca del convertidor y la campana fija, impidiendo la entrada de aire. Los gases captados así, no entran en combustión y son enfriados en el enfriador vertical, de gran altura. En seguida, pasan por el primer lavador, donde la mayoría de polvo es retirado por el agua. La lama formada es decantada en un dispositivo curvo tipo codo, y el agua fluye hacia la estación de tratamiento para ser purificada. Luego, los gases entran a un segundo lavador, tipo Venturi, donde es retirado casi la totalidad de polvo restante. Los gases que tuvieron de 100 a

120 g. de polvo por Nm^3 , pasan a tener de 10 a 20 g/Nm^3 después del primer lavado y menos que 0.1 g/Nm^3 después del segundo lavado.

3.1.1.8. SUB-LANZA

Este equipo es utilizado para la medición de temperatura, tenor de carbono/oxígeno y toma de muestra de acero durante y después del fin de soplo, sin la necesidad de bascular el convertidor, conforme se muestra en la grafica #27.



Grafica #27: Diagrama Esquemático de la Sub-lanza

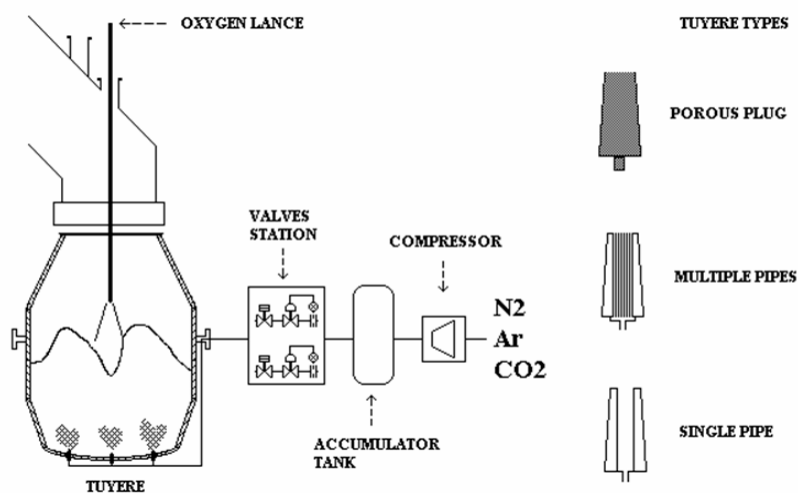
El equipo consiste en una lanza de triple cuerpo, refrigerada con agua, en el cual en su parte inferior esta acoplado un sensor descartable de múltiples funciones.

A partir de los resultados de la medición intermedia (durante el soplo), un modelo de control dinámico conduce el proceso a los resultados esperados tanto de carbono como temperatura de fin de soplo.

3.1.1.9. SOPLO COMBINADO

Uno de los principales problemas del proceso LD es la dificultad de lograr al fin de soplo el equilibrio de las reacciones en la interfase metal-escoria, debido a la limitación en la agitación del baño, especialmente en la etapa final, cuando disminuye la generación de CO. A diferencia de los procesos de soplo por el fondo, cuya agitación es más eficiente, conducen a reacciones de afino a condiciones más próximas al del equilibrio termodinámico.

La grafica #28, representa un diagrama del sistema y los principales tipos de elementos de inyección.



Grafica #28: Diagrama Esquemático del Soplo Combinado

El soplo combinado, que consiste en la inyección adicional de un gas por el fondo del convertidor a través de toberas, surgió como resultado de juntar las ventajas de los procesos de soplo por el tope (LD convencional) y soplo por la solera, para mejorar las condiciones de agitación del baño, a un costo compatible.

Los procesos de soplo combinado varían de acuerdo con el tipo y caudal de gas usado y con el sistema de inyección por el fondo. Los principales gases usados son argón, nitrógeno y gas carbónico. El sistema de inyección se caracteriza por la forma de control del caudal del gas y por el tipo/numero de toberas usadas. Las toberas pueden ser de tipo tapón poroso, tubo metálico, tubos metálicos múltiples o una combinación de estas.

3.2. CICLO DE OPERACIONES EN EL CONVERTIDOR LD

Un ciclo completo de operaciones en el convertidor abarca las etapas de carguío, soplo, muestreo/acciones correctivas, sangrado de acero y retiro de escoria. Este ciclo es denominado tap to tap (colada a colada), es decir el convertidor acaba de botar su escoria residual de la colada anterior y esta apto para recibir un nuevo carguío de chatarra para su colada siguiente.

En la tabla #12, se presentan los tiempos promedio por etapa de un acería brasilera y del proceso en los convertidores LD de Siderperu.

Etapa \ Acería	Acería brasilera	Siderperu
Carga	4 min.	4 min.
Soplo	15 min.	18 min.
Muestra y Temp.	5 min.	6 min.
Sangrado de acero	6 min.	5 min.
Escoriado	2 min.	2 min.
Total	32 min.	35 min.

Tabla #12: Tiempos de Operaciones en Convertidores LD

La optimización de cada etapa es fundamental para que se tenga un alta productividad en la acería, juntamente con un índice operacional del 90%.

3.2.1. CARGA

Comunmente se protege el convertidor con material escorificante sobre la escoria remanente antes de hacer el carguío para minimizar el impacto de chatarra en el horno principalmente cuando se usa chatarra pesada y punteaguda.

Enseguida el convertidor es basculado cerca de 60° con respecto a la vertical, lado carga, para adicionar la chatarra.

El carguío se hace en canaletas apropiadas con la ayuda de una grua puente. Las canaletas tienen que ser dimensionadas de tal manera que se haga solo un carguío. Después de esta operación, el convertidor vuelve a su posición vertical y es oscilado en torno a él para un perfecto asentamiento de la carga, eliminando posibles contaminaciones con agua, oleos, etc.



Grafica #29: Carguío de chatarra

El convertidor vuelve a posición de carguío para completar la carga metálica con arrabio liquido a través de cucharas especiales para una operación mas adecuada. Es importante que no quede escoria en el convertidor de las coladas anteriores y que se posea la capacidad térmica suficiente para promover la fusión de toda la chatarra cargada.



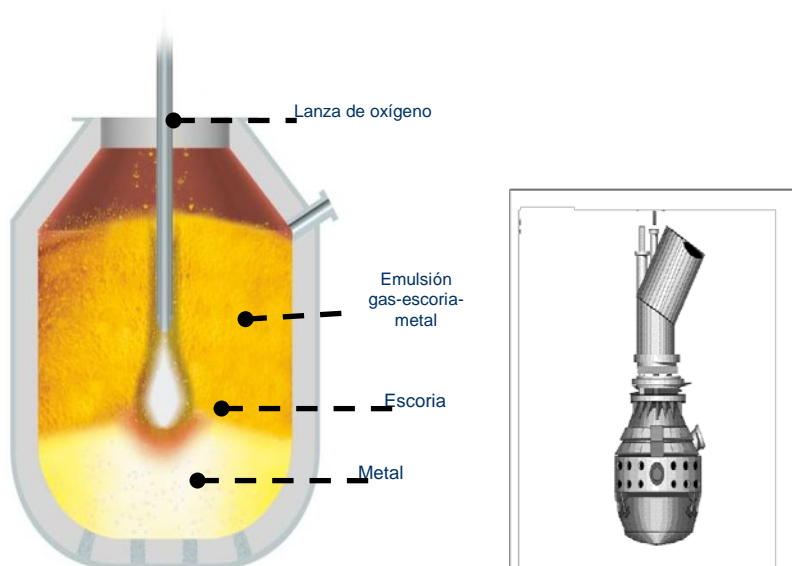
Grafica #30: Carguío de arrabio líquido

El carguío total del convertidor debe ser hecho en un máximo de 4 minutos.

3.2.2. SOPLO

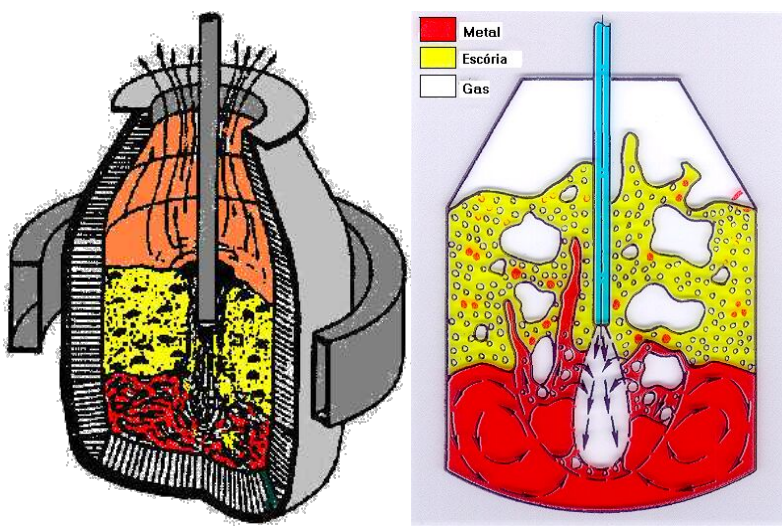
Esta etapa inicia inmediatamente después del carguío del horno, con éste en posición vertical. A través de una lanza es soplado oxígeno de alta pureza con velocidad supersónica sobre la superficie de la carga metálica. Se crea una región de impacto de chorro de oxígeno, de altísimas temperaturas, dando inicio a las reacciones de afinado y la formación de escoria. El perfecto entendimiento de las reacciones de afinado permite padronizar el momento y la cantidad de adición de escorificantes necesarios para el proceso y establecer la altura de lanza de oxígeno para que se tenga estabilidad en esta etapa y eficiencia de resultados.

El tiempo de duración de soplo depende del diseño de la cabeza de lanza y del caudal de oxígeno de trabajo. Se muestra el grafico #31.



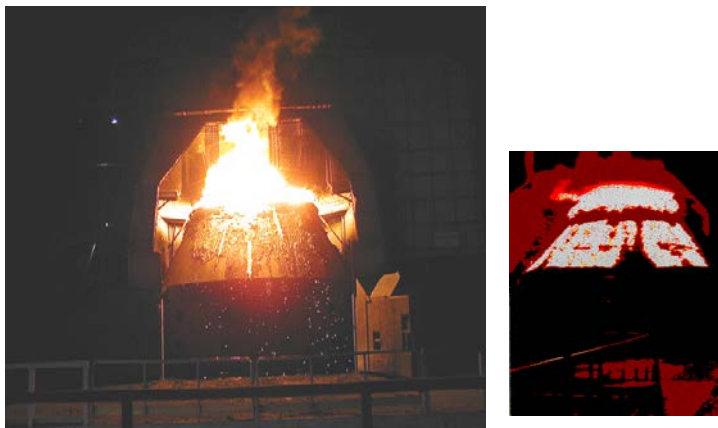
Grafica #31: Soplo en el Convertidor LD

Tecnologías como pre-tratamiento de arrabio líquido, el uso de soplo combinado o el reciente desenvolvimiento del chorro coherente, contribuye a la reducción significativa de tiempo de esta etapa, principalmente este ultimo, que permite que se trabajen con altas tasas de inyección de oxígeno.



Grafica #32: Emulsión durante el Soplo en el Convertidor LD

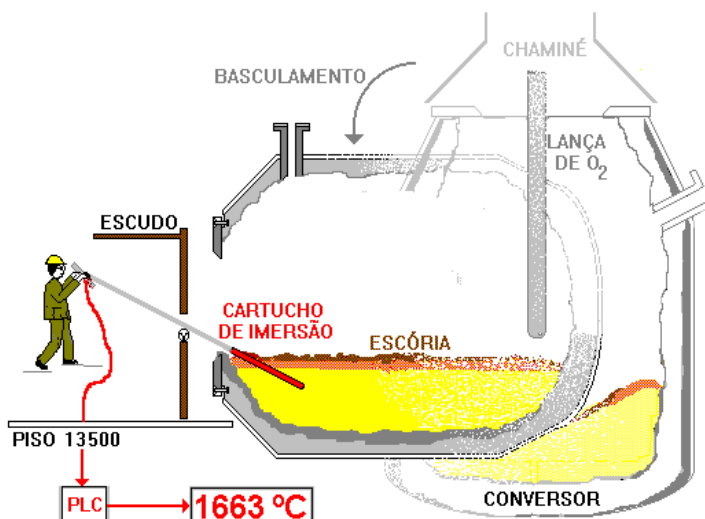
Tiempo de sopleo de hasta 11 minutos fueron obtenidos con el uso de la tecnología de chorro coherente. El tiempo de sopleo máximo ideal debe ser de 15 min. En la grafica #33 se muestran algunas reacciones durante el sopleo.



Grafica #33: Reacciones durante el sopleo de oxigeno

3.2.3. MUESTREO Y ACCIONES CORRECTIVAS

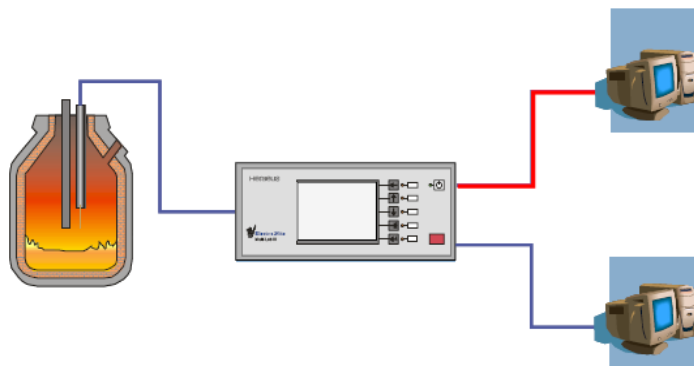
Después del término de sopleo se hace el muestreo y medición de temperatura para conocer la composición química y temperatura del acero al fin de sopleo. Cuando no se usa sub-lanza, el convertidor es basculado hasta su posición horizontal, o de retiro de escoria residual, en esta posición es efectuado el muestreo. Lo mencionado se muestra en la grafica #34.



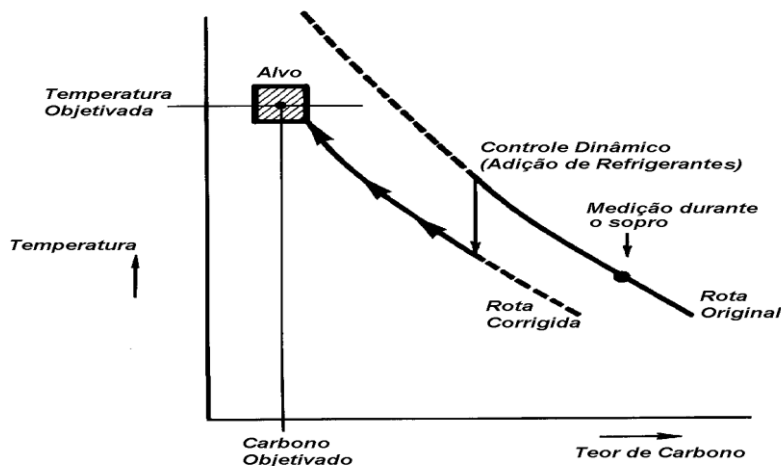
Grafica #34: Esquema de muestreo a fin de sopleo, sin sub-lanza

Ante cualquier desvío en relación a la composición química y/o temperatura del acero, se debe proceder a las acciones correctivas como resoplo o enfriamiento. Estas operaciones se deben minimizar para reducir el tiempo de esta etapa y además no comprometer la calidad del acero.

En acerías dotadas de sub-lanza y equipos para afino secundario, además de minimizar el tiempo en acciones correctivas, se puede realizar el sangrado directo, o el sangrado rápido, sin resultados de análisis químico de fin de soplo. Esto es posible a partir de la expectativa de análisis y temperatura posibilitada por la medición intermedia de soplo.



Grafica #35: Tecnología Sub-lanza



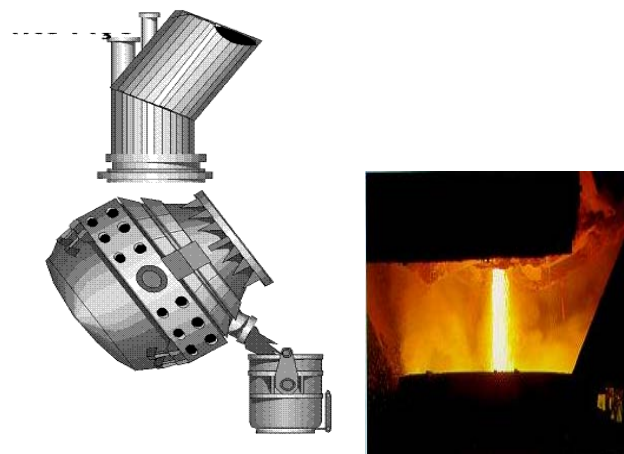
Grafica #36: Control dinámico, Sub-lanza.

El tiempo de muestreo y acciones correctivas no debe exceder de los 5'.

3.2.4. SANGRADO DE ACERO

El sangrado o vaciado de acero del convertidor a la cuchara es necesario para proceder a la corrección de composición química de fin de soplo a los niveles deseados del producto, para tratamientos posteriores y para su lingoteamiento.

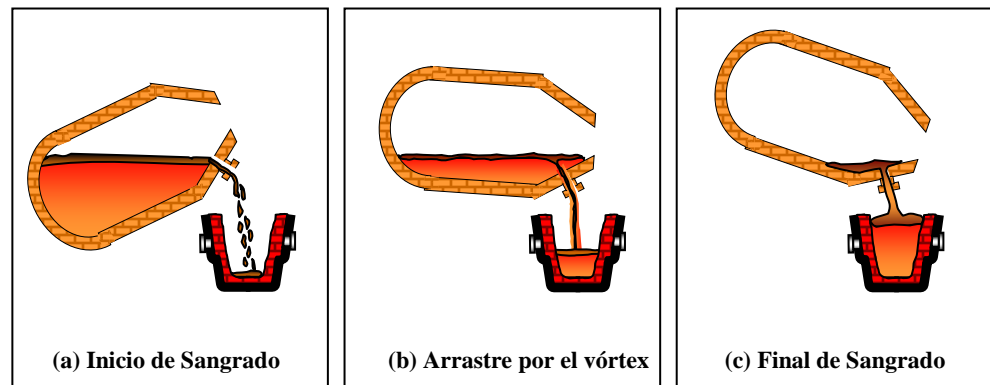
La grafica #37 muestra esquemáticamente el sangrado de acero.



Grafica #37: Sangrado de Acero

El proceso LD es oxidante y por lo tanto, el acero vertido necesita ser desoxidado. Esto es realizado durante el vaciado a la cuchara de acero, normalmente con el uso de aluminio y/o silicio, que son agregados directamente en el chorro de acero a través del chute de adiciones.

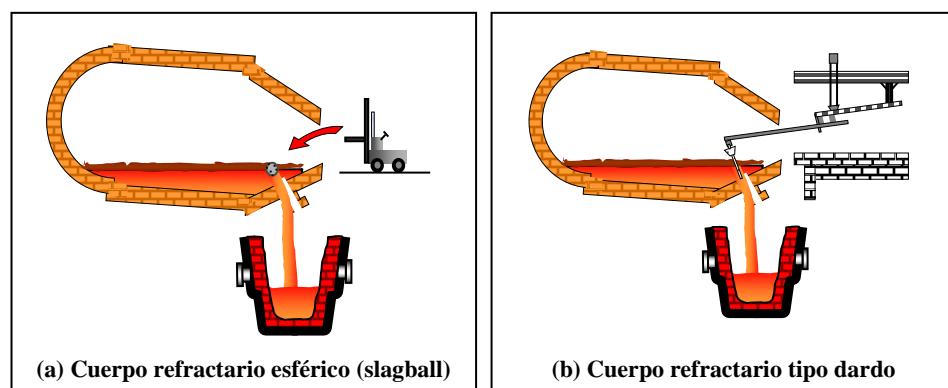
El objetivo principal de la etapa de sangrado es el control del pase de escoria del convertidor. Siendo la densidad de la escoria bien inferior a la del acero líquido (aprox. 2.8 contra 6.9 g/cm³), la escoria tiende a sobrenadar en el acero, y fluir con él a la cuchara. Este arrastre por el vórtex durante todo el vaciado, juntamente con el pase de escoria al inicio y al final del sangrado es común pero no deseable y representa del 1.0 a 1.5% del peso de acero bruto contenido en el convertidor.



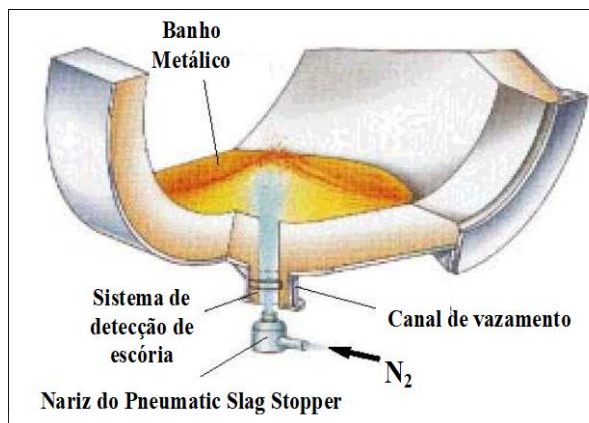
Grafica #38: Modos de Transferencia de escoria del Convertidor a la cuchara

Algunos óxidos presentes en la escoria, tales como FeO , MnO , P_2O_5 y SiO_2 , influyen en forma negativa desde la epata del vaciado, hasta los procesos siguientes, pudiendo perjudicar todo un ciclo productivo, dañando la calidad del producto final. Asimismo, se consumirá una mayor cantidad de ferroaleaciones debido a que un porcentaje de estos hará la función de desoxidante de los óxidos de la escoria en la cuchara, además de retornar elementos indeseables al baño, como el fósforo, disminuirá la calidad y limpieza interna del metal, aumentará el volumen de escoria en cuchara, descontrol del proceso, entre otros.

Para reducir el pase de escoria durante el sangrado son utilizados dispositivos para la retención de escoria inicial y final, como tapones refractarios, conos metálicos, bolas flotantes (slagball), además de otros dispositivos más sofisticados como el tampón neumático “slag stopper”.

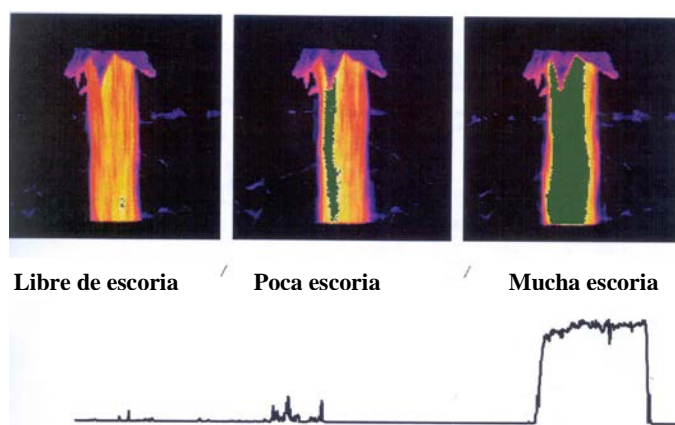


Grafica #39: Técnicas de Retención utilizando sólidos refractarios



Grafica #40: Sistema Neumático Slag Stopper desarrollado por Voest Alpine

Para la visualización del pase de escoria existen cámaras infrarrojas, que pueden actuar en el sistema de basculamiento del horno.



Grafica #41: Señal de emisividad de escoria

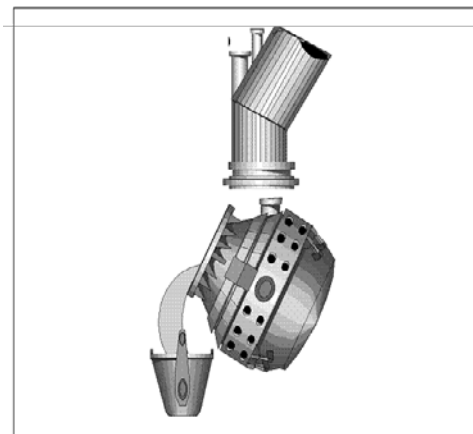
Un tiempo medio adecuado para esta etapa de sangrado es de 5 minutos.

3.2.5. RETIRO DE ESCORIA

El retiro de escoria residual se realiza inmediatamente después del sangrado de acero. El convertidor se bascula para el lado contrario al de sangrado y la escoria es vaciada por su boca en un bote o cuba de escoria. También se puede botar la escoria a un suelo refractario, para luego ser retirada y enviada a un botadero de escoria.

En la grafica #42 se esquematiza esta operación.

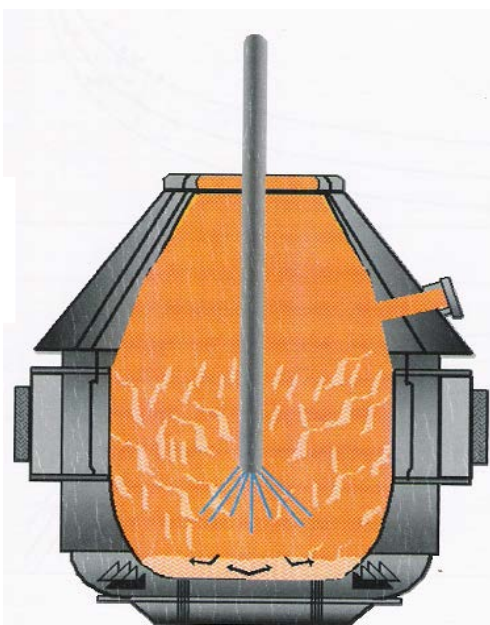
Grafica #42:
Retiro de escoria



Es una práctica común los baños de escoria saturada con MgO para una mayor protección al revestimiento refractario de las regiones de vaciado e impacto de chatarra. Para esto, se mantiene parte de la escoria en el horno y se adiciona dolomita cruda para su adecuación. Entonces el convertidor es basculado varias veces para cubrir las áreas referidas.

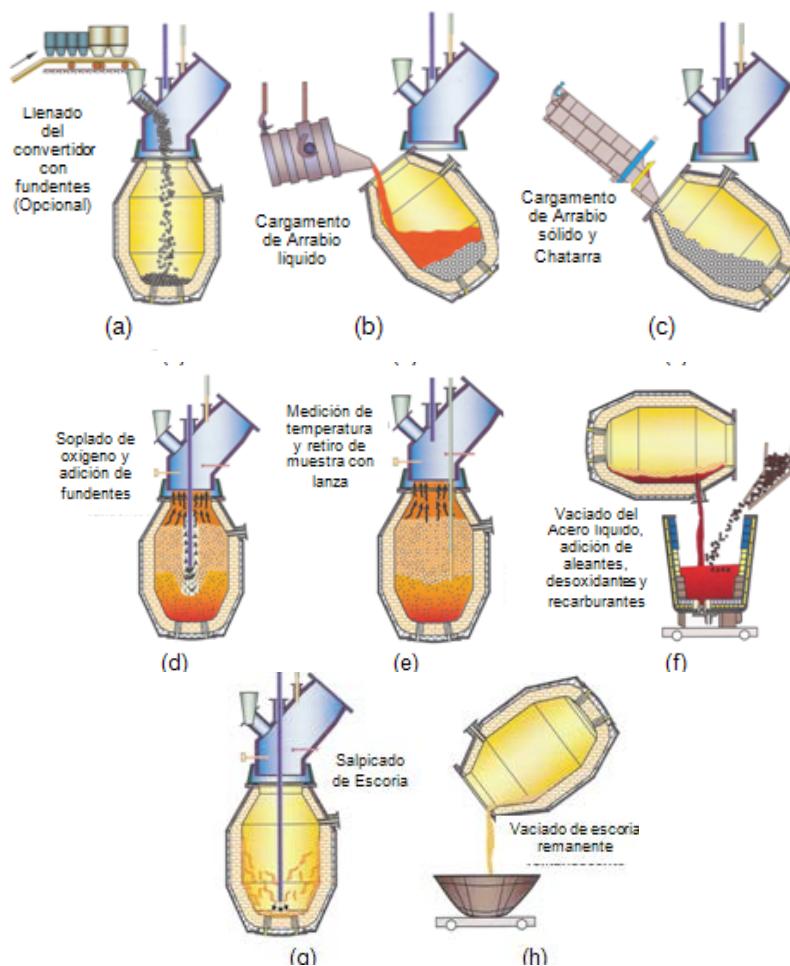
También existe la tecnología del “Slag Splashing”, que consiste en el sople de la escoria, rica en MgO con gas inerte por la lanza de oxígeno. En este caso, la protección es para todo el revestimiento, como se muestra en la grafica #43.

Grafica #43:
Slag Splashing



El tiempo medio para el retiro de escoria debe ser de 2 minutos. Con el baño de escoria el tiempo será mayor.

A continuación, se presenta en la grafica #44 todas las operaciones de una colada o corrida en los convertidores al oxígeno LD.



Grafica #44: Operaciones en una Acería LD

3.3. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

En la fabricación de acero líquido por el proceso LD, las principales materias primas envueltas son el arrabio líquido y la chatarra, que constituyen la carga metálica, y el oxígeno para la oxidación de las impurezas. Otros materiales imprescindibles para el proceso son los fundentes como la cal, cal dolomítica,

dolomita cruda y fluorita, para la formación de escoria, además de materiales refrigerantes como mineral de hierro, para el cierre del balance térmico. Los materiales refractarios son utilizados para revestir los principales equipos.

3.3.1. ARRABIO LÍQUIDO

Es la parte predominante de la carga metálica de los convertidores (80 a 85%) y la principal fuente de energía del proceso. Esto debido a su contenido térmico que es función de su composición química y la temperatura, cuyos valores típicos se muestran en la tabla #13, junto a los rangos obtenidos en el alto horno de Siderperu.

Elemento \ Acería	Acería brasilera	Siderperu
% Carbono	4.2 a 4.6	3.8 a 4.2
% Silicio	0.2 a 0.6	0.6 a 1.8
% Manganeso	0.4 a 0.6	0.08 a 0.25
% Fósforo	0.06 a 0.110	0.07 a 0.100
% Azufre	0.003 a 0.010 *	0.020 a 0.090 *
Temperatura	1280 a 1380 °C	1050 a 1350 °C

** Tenores después de un pre-tratamiento de desulfuración.*

Tabla #13: C. Q. del arrabio liquido del Alto Horno

Con relación a la composición química del arrabio, se les debe dar mayor atención a los tenores de silicio y azufre.

El tenor de silicio debe estar dentro de un estrecho rango de variación, puesto que este elemento influye directamente en la capacidad térmica del proceso y en la formación de escoria, variable importante para la perfecta conducción

del afino. El tenor de silicio depende de la cantidad de silica en la carga de los altos hornos, lo que implica en consumo de coque y productividad de los mismos. Un rango entre 0.20 y 0.60% es mas frecuente en acerías brasileras.

El tenor de azufre debe ser el menor posible, puesto que el convertidor no es un reactor apropiado para la desulfuración. El arrabio debe ser previamente desulfurado, en caso de coladas con exigencias de bajos tenores de este elemento.

El tenor de fósforo hasta valores de 0.1% no constituye mayores problemas para el proceso. En cambio, valores superiores, exigen cambios en la práctica operacional para atender las exigencias de calidad especificadas para el producto. También se puede hacer la desfosforación previa del arrabio líquido.

La variación de los tenores de carbono y manganeso dentro del rango mostrado en la tabla no trae mayores problemas al proceso. Tenores del manganeso inferiores al 0.4% disminuye la fluidez de la escoria y los tenores obtenidos en el acero de fin de soplo.

La variación de temperatura depende del tiempo de transporte entre alto horno a acería, del tipo de pre-tratamiento y de control de saldo de arrabio líquido durante eventuales problemas de flujo entre ambas áreas.

Lo que se necesita para un afino más estable en los convertidores es que el arrabio líquido presente una minima variación posible en su composición química y temperatura independiente de los rangos establecidos.

3.3.2. CHATARRA

La carga sólida de los convertidores ejerce un papel importante en el proceso de fabricación de acero al oxígeno, ya que envuelve una intensa generación de calor. En este caso, la chatarra ejerce el papel de controlador térmico del proceso.

Desde el punto de vista en rendimiento metálico y para mayor producción de acero, el uso de un mayor porcentaje de chatarra en la carga es ventajoso, ya que su tenor de hierro es mayor que el de arrabio líquido. Para esto, la chatarra debe ser de alta calidad y el proceso debe generar calor suficiente para su total fusión. Se puede usar fuentes externas de calor como coque, ferro-silicio, carburo de silicio y otros. Otras alternativas son el pre calentamiento de chatarra o el uso de boquilla de lanzas especiales para aumentar la post-combustión de CO durante el afino.

Normalmente, se usa en mayor proporción chatarra de retorno de la propia planta, y en menor proporción, chatarra comprada a proveedores externos. En el aspecto de la composición química, la chatarra de retorno es constituida principalmente de hierro, no presentando problemas con relación a las impurezas, pudiendo ser consumida sin restricciones. Para la chatarra externa, se debe dar atención a posible contaminación con combustibles, humedad, pintura, caucho, etc., capaces de provocar accidentes operacionales tales como explosiones y/o llamas violentas.

Las dimensiones de la chatarra deben ser tales que permitan su completa fusión durante el soplo y no causen daños al revestimiento del convertidor cuando se carguen. En todo caso, incide bastante la correcta preparación de la

carga en las canaletas, colocando la chatarra pesada y grande en la zona trasera, y la chatarra liviana y mas chica delante de las primeras.

La chatarra de hierro fundido y arrabio sólido son otra materia prima muy utilizada en la carga metálica de los convertidores LD. Presentan mayor contenido térmico que la chatarra de acero, debido a sus contenidos elevados de carbón y silicio, pero en contra partida el rendimiento de hierro disminuye produciendo un aumento en el volumen de escoria de proceso.

Otro aspecto importante que debe ser tomado en cuenta es el uso de chatarra aleada a elementos como cobre, cromo, níquel, estaño, molibdeno, cobalto y tungsteno. En este caso se debe restringir su uso, ya que estos elementos no son totalmente oxidables, y algunos de ellos, son apenas ligeramente oxidables.

Lo que se exige en la preparación de canaletas es que los diversos tipos de chatarra usados sean claramente clasificados y que a partir de su generación se establezcan las cantidades a ser cargadas para que la carga de chatarra tenga siempre un mismo perfil. Esto propicia un mismo comportamiento de fusión durante el soplo, garantizando la reproductibilidad de resultados, necesarios para un mejor control operacional.

3.3.3. FUNDENTES

La formación de escoria en el proceso LD es de fundamental importancia para las reacciones de afino y para la estabilidad del soplo. Para esto son utilizados como principales fundentes la cal, cal dolomita, dolomita cruda, fluorita

(espato fluor) y nefelina. El mineral de hierro y sinter son usados como refrigerantes.

La cal, dolomita calcinada, y dolomita cruda (fuentes de CaO) son necesarias para la escorificación de la sílice, formada por la oxidación del silicio de la carga metálica y para la estabilización de fósforo y azufre en la escoria. Las dolomitas también son fuente de MgO, que trabaja con este compuesto en niveles de saturación de escoria de proceso y así mejorar el desempeño de revestimiento refractario.

Siendo el CaO el principal componente de la escoria la buena operación metalúrgica del proceso dependerá en gran parte de su calidad, que a su vez esta ligada a la piedra caliza de origen, a las condiciones de calcinación y al tratamiento posterior.

La fluorita o espato fluor (CaF_2) y nefelina (NaAlSiO_4), son usados como fundentes de la cal, acelerando su disolución y aumentando la fluidez de escorias muy viscosas, haciéndola reactiva a lo largo de todo el afino, obteniendo buenas tasas de desfosforación y desulfuración.

El mineral de hierro y sinter son usados como balanceadores térmicos, principalmente en el fin de soplo, como refrigerante para el control de temperatura. El mineral de hierro puede ser usado también como acelerador de la disolución de la cal, cuando es agregado al inicio del soplo. Dado que su poder refrigerante es bastante elevado, su consumo debe ser el menor posible, para un mayor rendimiento metálico del horno, mayor consumo de chatarra y mayor producción de acero. Se debe notar también, que el uso de gran

cantidad de mineral aumenta el volumen de escoria y agrava el riesgo de proyecciones.

La granulometría de los fundentes es de vital importancia para su disolución, siendo esta más rápida cuando menor es su tamaño. Sin embargo, existe un límite inferior, abajo del cual las pérdidas de finos durante la carga se tornan excesivas, siendo arrastradas por el sistema de captación de gases del convertidor durante el soplo. Se recomienda un rango entre 10 a 50 mm.

3.3.4. OXIGENO

El proceso LD utiliza oxígeno de alta pureza (mayor a 99%), para evitar contenidos de nitrógeno más elevados en el acero, lo que es extremadamente dañino para su calidad.

El consumo de oxígeno varía con la práctica operacional (tipo de lanza, distancia baño-lanza, adiciones de mineral y óxido de hierro, calidad de arrabio y proporción de chatarra en la carga), siendo un valor promedio de 50 $\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{acero}}$.

3.3.5. REFRACTARIOS

Los ladrillos refractarios del convertidor LD son básicos (MgO.C) dado que el proceso utiliza escoria básica para las reacciones de afinado. Las cucharas son revestidas con material silico-aluminoso, pero pueden también usar material básico. El consumo de refractarios varía en función de su calidad y práctica operacional adoptada, siendo de 2 a 5 $\text{kg}/\text{t}_{\text{acero}}$.

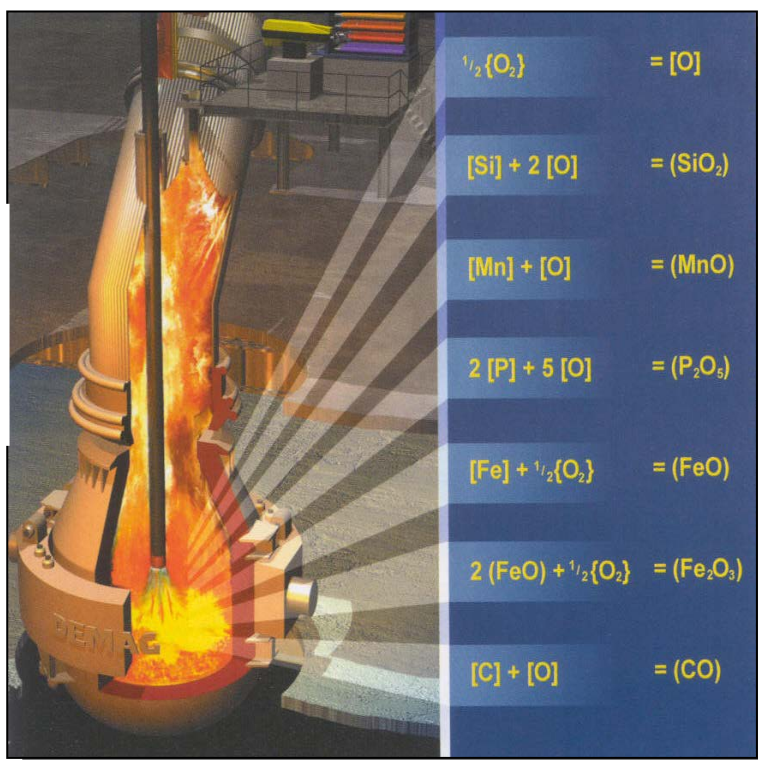
3.4. REACCIONES DE AFINO / FORMACION DE ESCORIA

Para el establecimiento de padrones de soplo que conduzcan a resultados productivos es necesario el pleno conocimiento de las reacciones de afino, del mecanismo de formación de escoria y del comportamiento de los principales escorificantes utilizados.

Las reacciones químicas que se presentan en los convertidores LD son oxidaciones parciales del carbono, manganeso, fósforo, silicio y otras impurezas de la carga metálica.

La formación de una escoria básica es necesaria para neutralizar los óxidos ácidos formados, en especial la sílice. De esta forma se le da protección al revestimiento refractario básico del horno y minimiza la actividad de los componentes de la escoria, lo que permite estabilizar el fósforo y el azufre escorificados. Se ilustra en la grafica #45.

Grafica #45:
Reacciones
Químicas en los
Convertidores
LD

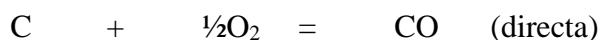


Con la excepción de la reacción de descarburación, todas las otras están ligadas directamente a la formación de escoria del proceso, responsable por el buen desempeño de la operación de sople.

A partir de la ignición y aparición de la llama característica del inicio de sople se da la formación de una emulsión metal-gas-escoria donde las reacciones se procesan, con la participación efectiva del FeO formado en la región de impacto de chorro de oxígeno.

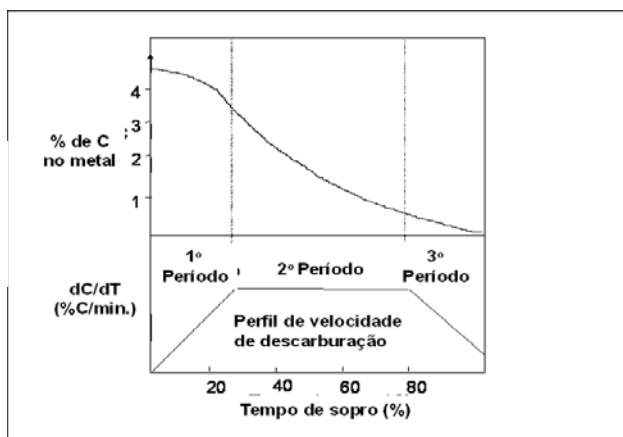
3.4.1. DESCARBURACION

La descarburación en el convertidor LD se da a través de reacciones ocurridas directamente por la oxidación del carbono en la región de impacto del chorro de oxígeno e indirectamente, de forma predominante, por la participación del FeO de la escoria.



La velocidad de descarburación evoluciona según un perfil característico, conforme al esquema de la grafica #46, permitiendo la división del sople en tres etapas distintas, lo que facilita el entendimiento del proceso.

Grafica #46:
Evolución del tenor de Carbono en el Sople



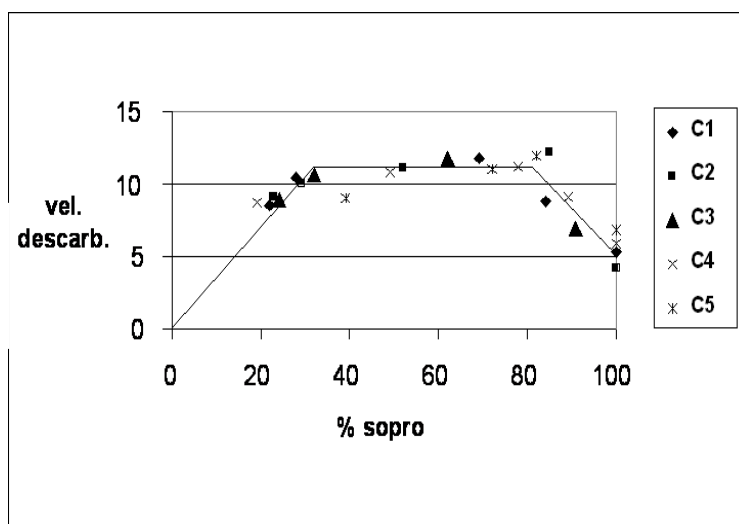
En la primera etapa la oxidación de carbono es lenta, ya que ocurre simultáneamente con la oxidación de otros elementos, principalmente el silicio. Luego aumenta gradualmente en la medida que el silicio va siendo oxidado, hasta llegar a un valor máximo característico del segundo periodo de soplo.

Durante la segunda etapa la única reacción importante es la oxidación del carbono, cuya velocidad es limitada por la presión y flujo de oxígeno al baño y las condiciones de agitación.

La tercera etapa de soplo es caracterizada por la disminución de la velocidad de descarburación debido a la reducción del tenor de carbono de baño. Asimismo, se completan las oxidaciones del manganeso y fósforo hasta los niveles de equilibrio.

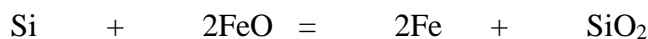
La eficiencia de descarburación es mayor para soplos mas duros, lo que esta relacionado con la profundidad de penetración del chorro de oxígeno en el baño metálico.

Grafica #47:
Velocidad de
descarburación



3.4.2. DESILICIADO

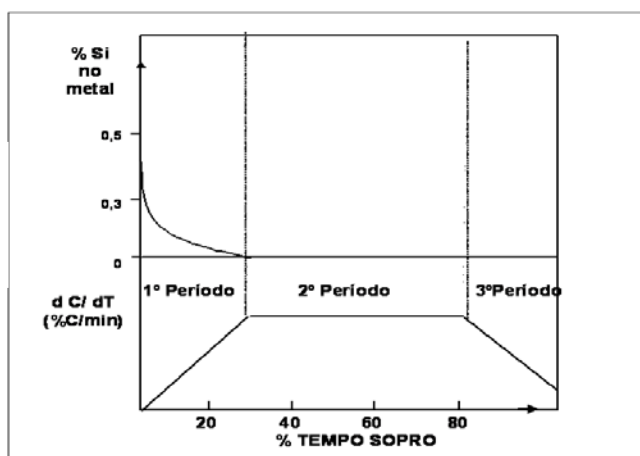
Las reacciones de oxidación del silicio y formación de silicato de calcio pueden ser representadas por:



Debido a su gran afinidad con el oxígeno, el silicio se empieza a oxidar rápidamente, al iniciar el soplo. Al final de la primera etapa, el silicio fue prácticamente oxidado en su totalidad, y su tenor en el acero a fin de soplo es extremadamente bajo. A medida en que el silicio va siendo oxidado, la sílice formada va reaccionando con la cal/dolomita adicionada dando inicio a su disolución.

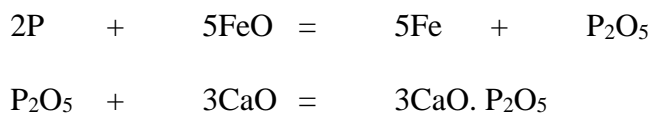
Debido a que el silicio tiene una oxidación pronunciada en la parte inicial del soplo, conforme a la grafica #48, es necesario crear condiciones favorables para la disolución de la cal en esta etapa, para una formación rápida de escoria. Por esta razón, se debe practicar soplo suave, agitación menos intensa y promover adición de fluidificantes (fluorita, nefelina, mineral y otros), para bajar la temperatura de fusión de los silicatos formados y dar pase a la disolución.

Grafica #48:
Evolución del tenor de Silicio en el Soplo



3.4.3. DESFOSFORACION

La desfosforación en LD ocurre en la interfase metal-escoria y puede ser representada através de las reacciones siguientes:

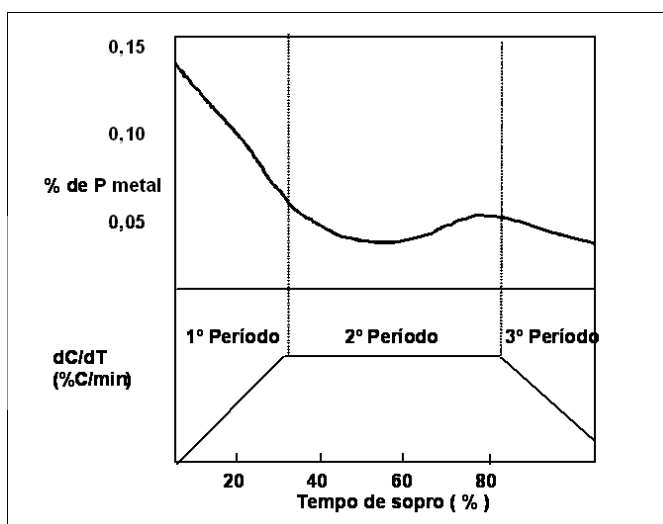


Las condiciones favorables para la oxidación del fósforo son:

- Alto volumen de escoria
- Tenores elevados de FeO y CaO en la escoria
- Temperatura baja.

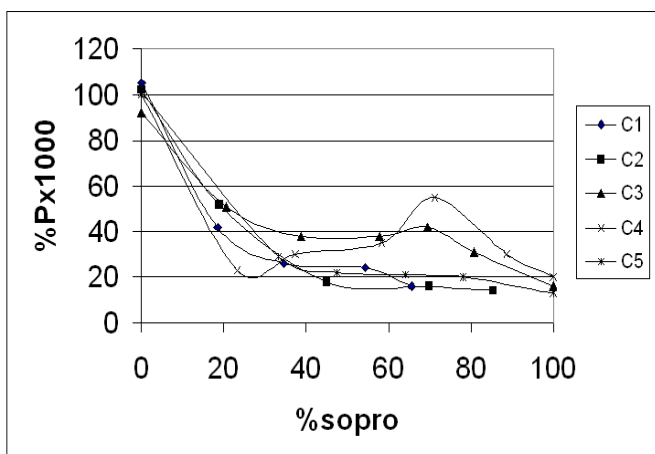
Hasta el 50% de soplo son obtenidas altas tasas de desfosforación. A partir de ahí el P_2O_5 no absorbido por el CaO, participa de la reacciones de descaburación, como fósforo revirtiendo al baño. En la etapa final con la disminución de velocidad de descaburación, el fósforo vuelve a ser oxidado, juntamente con el manganeso y el hierro. La evolución del tenor de fósforo durante el soplo es esquematizada en la grafica #49.

Grafica #49:
Evolución del
tenor de Fósforo
en el Soplo



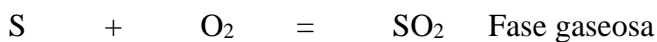
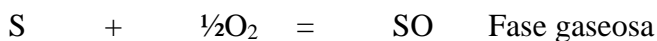
El hecho de obtener altas tasas de desfosforación en la parte inicial del soplo confirma la necesidad de una rápida disolución de la cal en la escoria para la fijación del P_2O_5 . Informaciones obtenidas durante el soplo de muestras del baño metálico revelan que es posible obtener tasas de desfosforación crecientes hasta el final, sin reversión del fósforo al baño, como se muestra en la grafica #50, que representan datos obtenidos durante el soplo en un convertidor de 180 t, con sub lanza.

**Grafica #50:
Perfil de
desfosforación**



3.4.4. DESULFURACION

El azufre es eliminado en el proceso LD através de la escoria y de la fase gaseosa en menor cantidad (hasta el 10%). Las reacciones representativas de desulfuración pueden ser de la siguiente forma:



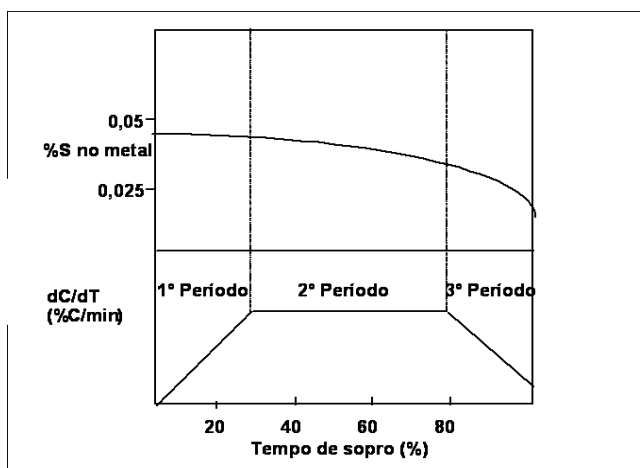
La reacción de desulfuración ocurre más fácilmente cuando se tiene un tenor elevado de CaO en la escoria y cuando la temperatura del baño llega a valores

más altos, casi próximos al fin de soplo. Condiciones favorables para eliminación de azufre son:

- Bajo tenor de FeO en la escoria.
- Alta temperatura.

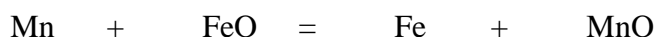
Por este motivo, las tasas de desulfuración en LD difícilmente llegan al 50%, siendo necesaria la previa desulfuración del arrabio líquido y/o la desulfuración del acero en cuchara, para la fabricación de aceros con mayores exigencias de calidad. La grafica #51 muestra el comportamiento esquemático del azufre durante el afino en LD.

Grafica #51:
Evolución del tenor de
Azufre en el Soplo



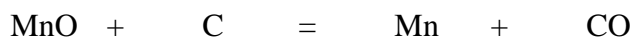
3.4.5. OXIDACION DE MANGANESO

La oxidación del manganeso en el convertidor LD puede ser expresada por:



En la primera etapa de soplo el manganeso tiene una acentuada oxidación y consecuentemente aumento del MnO en la escoria.

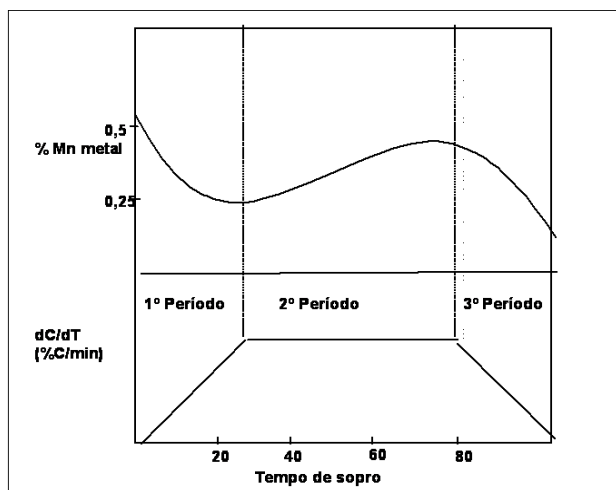
Ya en la segunda etapa, como la descarburación consume todo el oxígeno disponible, el contacto del metal con la escoria conlleva a su reversión al baño, a través de la reacción:



Por esta razón, para obtener tenores más elevados de este elemento al final de soplo, se puede adicionar mineral de manganeso en este periodo, así, el aumento de su tenor en el baño es mayor, aun volviendo a ser oxidado en la tercera etapa, logrando valores más altos al final de soplo. Esta práctica reduce costos en ferro-aleaciones de manganeso, adicionadas a la cuchara durante el sangrado de acero.

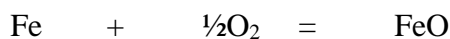
La evolución de tenor de manganeso durante el soplo se esquematiza en la grafica #52.

Grafica #52:
Evolución del tenor
de Manganeso en el
Soplo



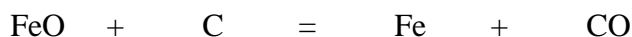
3.4.6. OXIDACION DE FIERRO

La reacción de oxidación del hierro es representada por:



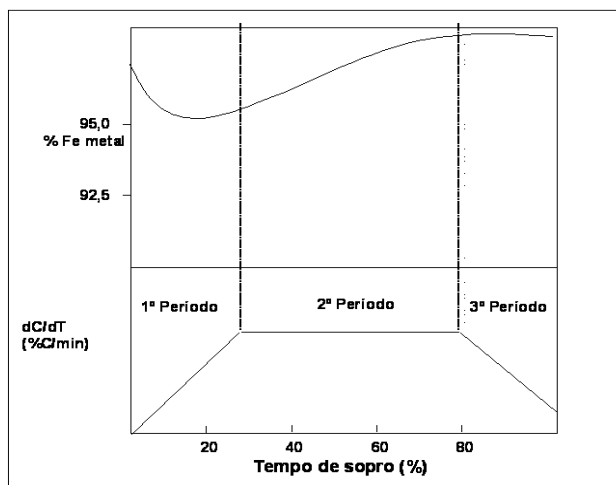
El comportamiento de esta reacción es semejante a la oxidación del manganeso.

En la primera y tercera etapa, ocurre una oxidación acentuada del hierro, con el aumento del FeO en la escoria. En la segunda etapa, el FeO participa activamente en la descarbonación a través de la reacción:



El comportamiento del hierro durante el soplo esta esquematizado en la grafica #53.

Grafica #53:
Evolución del tenor
de Hierro en el
Soplo



La oxidación acentuada del hierro en la etapa inicial de soplo es importante desde el punto de vista de formación de una escoria reactiva, capaz de acelerar la disolución de la cal, con efectos benéficos para la desfosforación. Los principales procedimientos para esta etapa son:

- Practica de soplo suave (lanza de oxígeno mas alta),
- Adición de fuentes de $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (chatarra acondicionada, mineral de Fe, sinter, etc.),
- Conservar en el horno parte de escoria de la colada anterior.

La oxidación del hierro en el periodo final de soplo debe ser minimizada, para conseguir un mejor rendimiento metálico, así como un mejor rendimiento de ferro-aleaciones en cuchara, por ejemplo aluminio. Se debe practicar soplo duro (lanza baja), en especial para aceros calmado al aluminio y con bajo tenor de carbono.

3.4.7. DISOLUCION DE LA CAL

La formación de una escoria líquida y con tenor adecuado de CaO es uno de los principales objetivos del afino de arrabio en los convertidores LD.

El tenor de CaO tiene como función neutralizar los óxidos ácidos formados en el proceso, principalmente la sílice, y obtener un índice de basicidad (CaO/SiO_2) adecuado a las reacciones de desulfuración y desfosforación. La basicidad de la escoria depende de las exigencias de calidad del acero, principalmente los tenores de fósforo y azufre del producto, la temperatura exigida para el sangrado, el tenor de carbono esperado a fin de soplo, volumen de escoria de proceso (%Si de arrabio) y del tenor de fósforo del arrabio, principalmente. La basicidad prevista podría situarse en un rango de 2.5 a 6.

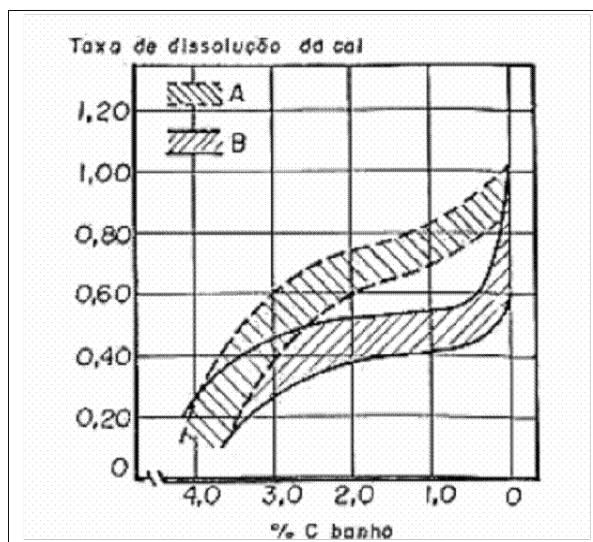
El tenor de MgO en la escoria es necesario para minimizar la disolución del MgO de los ladrillos refractarios, convirtiendo escorias muy agresivas de tipo $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ en $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$. Valores ligeramente superiores al de saturación de escorias de LD contribuyen significativamente para la protección del revestimiento refractario, sin comprometer la desfosforación. Por otro lado, un desgaste uniforme del revestimiento del horno es un factor decisivo para un mejor control de soplo, principalmente para el control de posicionamiento de la lanza de oxígeno.

Es importante entonces, que la disolución del CaO y MgO en la escoria sea rápida con tal de mantener una alta basicidad a lo largo de todo el soplo. Se sugiere usar una cal de alta calidad con un %CaO entre 92 y 94%, y una densidad aparente de 1.5 a 1.7 g/cm³.

En la primera etapa de soplo, la disolución de la cal es favorecida por la mayor oxidación del hierro y manganeso, cuyos óxidos FeO y MnO aumentan la fase líquida de la escoria. Se debe trabajar con soplo blando (lanza alta).

En la etapa intermedia de soplo, con la disminución de los tenores de FeO y MnO en la escoria, que participan activamente en la reacción de descarburación, la disolución es desfavorecida y prosigue solo lentamente.

En la etapa final, la disolución vuelve a acelerarse debido a las condiciones nuevamente favorables y debe llegar a valores superiores a 95%. La grafica #54 muestra la influencia de la adición de fluorita en la tasa de disolución de la cal.



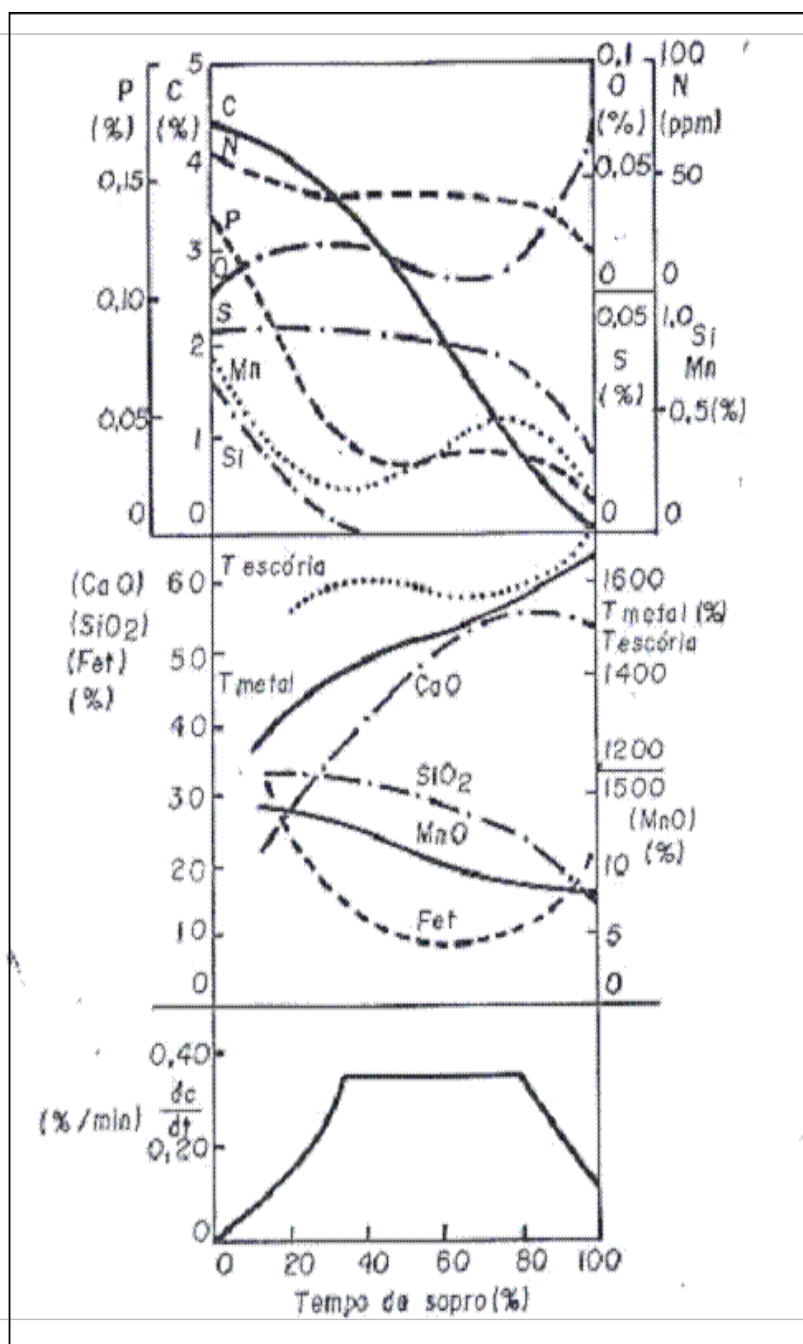
Fluorita:

A = 5 a 10 kg/tacero, B = 1 a 2 kg/tacero

Grafica #54: Influencia de adición de fluorita en la disolución de la cal

Adiciones elevadas de fluorita propician una disolución más rápida de la cal. Sin embargo, se trata de minimizar su consumo dado que es un fundente bastante caro, y genera un mayor desgaste del revestimiento refractario del horno.

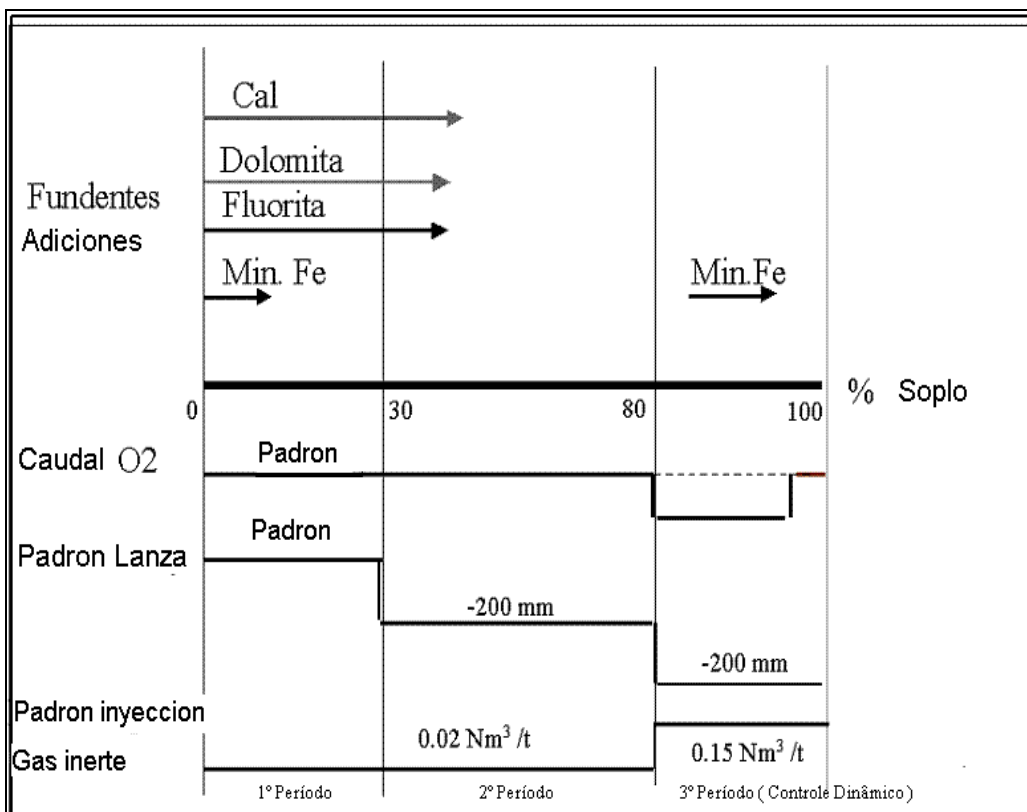
La grafica #55 muestra, de una manera global, la evolución de la composición química y temperatura del metal y escoria en relación al perfil de velocidad de descarbonación.



Grafica #55: Evolución de la composición química y Temperatura de la escoria y metal durante el soplo

3.4.8. PADRON DE SOPLO

De acuerdo a las informaciones obtenidas del estudio de las reacciones de afino y formación de escoria en los convertidores, se puede establecer un padrón de soplo conforme el esquema de la grafica #56.



Grafica #56: Esquema de Padrón de soplo para aceros de bajo carbono

Se puede notar que las adiciones de fundentes son hechas hasta un 50% del soplo, de forma continua. La adición de mineral de manganeso, debe ser hecha al final de la segunda etapa, para que se tenga un mejor rendimiento de dicho elemento. También, el mineral de fierro u otro refrigerante puede ser adicionado en el periodo de control dinámico. Es importante que las adiciones al soplo sean hechas hasta un máximo de 3 minutos antes de la medición con sub-lanza, lo que garantiza una buena performance de los modelos de control.

El caudal de oxígeno establecido a lo largo del soplo es el caudal de trabajo. En determinadas situaciones, por ejemplo, durante la adición de grandes cantidades de mineral, debe reducirse el caudal para que el sistema de captación de gases pueda soportar el volumen extra de gas generado.

El padrón de altura de lanza esquematizado promueve un mayor nivel de oxidación de escoria inicial y una reducción de este nivel en la escoria final. Esto mejora las condiciones de su formación, con efectos positivos para el soplo y propicia un mejor control del rendimiento metálico.

En acerías dotadas de soplo combinado, el caudal de gas inerte se debe aumentar en la etapa final de soplo para la producción de aceros con bajos tenores de carbono. De esta forma, se mantienen buenas condiciones de agitación de baño.

Para la fabricación de aceros con altos tenores de carbono, se puede variar la altura de lanza y/o el caudal de oxígeno, en relación al padrón esquematizado, para así obtener situaciones más adecuadas en el final de soplo para estos aceros. Normalmente, lanza más alta y/o caudal más bajo.

3.5. CONTROL DE PROCESO

La eficiencia de un acería LD se evalúa por los siguientes indicadores:

- Alta capacidad productiva,
- Alto rendimiento metálico,
- Alto acierto de fin de soplo (C y T),
- Alto acierto de composición química en cuchara,
- Bajo costo de producción.

Para que se llegue al control de proceso deseado, es necesario que se establezca padrones de soplo definidos, que conduzcan a una operación de forma estable y con resultados reproductivos. Es necesario también, un sistema de control por computadora que supervise todas las funciones y que ejecute los cálculos con rapidez y precisión.

La necesidad de padronización se debe a la gran variación presentada por las materias primas usadas en el proceso y la corta duración del afino en los convertidores LD.

El acierto simultáneo de carbono y temperatura al final de soplo es un resultado que esta directamente ligado a la productividad de la acería. El aumento del índice de acierto reduce el tiempo usado para acciones correctivas como resoplo o enfriamiento del acero, disminuyendo el tiempo total por colada.

El control del nivel de oxidación es importante porque, además de afectar el acierto en el fin de soplo, una oxidación excesiva de fierro acarrea:

- Bajo rendimiento de acero,
- Alto consumo de ferro-aleaciones y desoxidantes,
- Aumento del numero de inclusiones en el acero,
- Alto desgaste del revestimiento refractario.

Estos aspectos afectan la calidad del producto y aumentas significativamente el costo de producción.

Por lo tanto, el uso de herramientas de calidad para la padronización, verificación y acción, sobre los principales ítems de control, es fundamental para que se llegue a la excelencia en el control operacional.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En Siderperu, es importante, para continuar con el nivel de productividad alcanzado hasta agosto pasado, que se optimicen las coordinaciones entre las áreas de Alto Horno y Convertidores LD. Se formó un grupo de trabajo para llegar a conocer más los entornos de ambas áreas; personal operativo; procesos y actividades; mecanismos y restricciones. Esto es aun tarea pendiente, por culminar.
2. A su vez, dado que el arrabio liquido es el 85 a 90% de la carga total a los convertidores LD, la estabilidad del proceso en estos hornos depende mucho de la calidad del arrabio enviado por Alto Horno, y su alta variabilidad no hace mas que aportar deficiencias en la operación, si tomamos en cuenta que estos Convertidores LD no son automatizados, y muchas veces dependemos del criterio del supervisor de turno, cuando no se encuentra la jefatura de área.
3. Las visitas técnicas a la Planta de Acero del Complejo Siderúrgico de Tubarão y de Açominas, te dan otra visión de procesos, dada la moderna infraestructura, organización y ambiente de trabajo observado. La tendencia mundial es llegar a eso, y que con el proyecto de modernización y ampliación de la Acería LD de Siderperu, se esta muy cerca. Esperemos se retomen las inversiones programadas.
4. El Perú, en el 2008 llego al 5to lugar en la producción de acero bruto en America del Sur y 6to en America Latina. Hasta antes de la crisis económica, con la producción peruana de acero solo cubríamos el 70 % de la demanda local.

BIBLIOGRAFIA

1. FABRICAÇÃO DE AÇO EM FORNO BÁSICO A OXIGÊNIO – LD
Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM (2008)
2. INTRODUCCION A LA SIDERURGIA
Marcelo Breda Mourão – ABM (2008)
3. CURSO DE PROCESOS SIDERURGICOS
Capacitación Acelerada para Ingenieros, Univ. de los Andes – Bogota (2008)
4. MANUAL DE SIDERURGIA, Vol. 01 - PRODUÇÃO
Luiz Antonio de Araujo – Editora Arte & Ciência (1997)
5. INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS DE LINGOTAMENTO DOS AÇOS
Ernandes Marcos da Silveira Rizzo – ABM (2006)
6. INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS DE PREPARAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA O REFINO DO AÇO
Ernandes Marcos da Silveira Rizzo – ABM (2005)
7. Información obtenida en los más de 3 años de experiencia en la Planta de Acero de Siderperu.
8. Información obtenida en las Visitas Técnicas a:
 - Planta de Acero de Açominas – Gerdau (Bello Horizonte 09/2008),
 - Planta de Acero de Tuta, Diaco – Gerdau (Boyacá 07/2008),
 - Planta de Acero del C. S. Tubarão – Arcelor Mittal (Vitoria 07/2008).
9. <http://www.worldsteel.org/>
10. <http://www.abmbrasil.com.br/cim/downloads.asp>

ANEXOS.- PROYECTOS DE MEJORA SIDERPERU – VISITA PLANTA DE AÇOMINAS/GERDAU

1. Reducción del tiempo de soplo aumentando presión de oxígeno en cabeza de lanza.

- **Objetivo:**

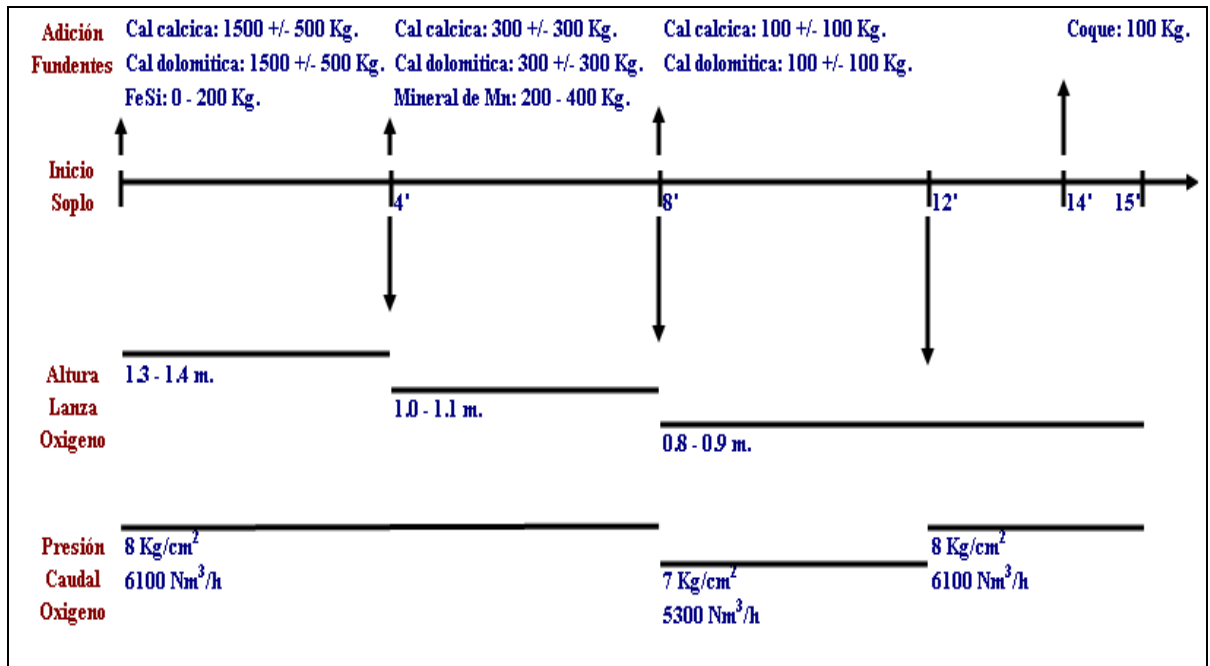
Reducir el tiempo de soplo de 18 a 15 minutos, logrando una mayor producción de acero líquido, manteniendo la calidad del mismo. A caudales mas altos de oxígeno, la cinética de reacción será mayor, por lo que las etapas de soplo se reducirán, oxidando los elementos que comprenden el baño a fin de soplo en un menor tiempo.

- **Procedimiento:**

Se deben realizar las siguientes modificaciones con respecto al soplo standard de 18 minutos:

- Aumentar la presión de oxígeno en cabeza de lanza de 6.0 a 8.0 kg/cm²,
- El punto anterior obligará a un aumento en el caudal de oxígeno de 4800 a 6100 Nm³/h,
- Elevar la altura de lanza de oxígeno de 1.1 a 1.3 m. sobre el baño metálico.

Se preparo el siguiente padrón de soplo, el cual se uso inicialmente para trabajar con un solo convertidor a la coco3 (4 líneas operativas).



Padrón de soplo – 15 minutos

Con este padrón presentado, se podía dejar de trabajar con los dos convertidores alternadamente, y solo hacerlo con uno, sin problemas de atraso, ni acumulación de arrabio enviado por alto horno. La generación de gases que este aumento de presiones de oxígeno ocasionó, pudo ser controlado mediante un mejor programa de mantenimiento a los paneles refrigerados de la chimenea y a las parrillas de lodos del lavado de gases.

- **Ganancias:**

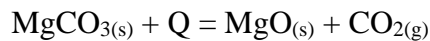
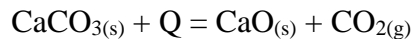
Entre las ventajas que nos brindó esta innovación, podemos mencionar:

- Mayor productividad,
- Mantener un convertidor en stand-by, y solo uno en operación,
- Reducción en el consumo de FeSi y escorificantes,
- Se necesitan temperaturas mas bajas de fin de soplo,
- Aumento de tiempo de vida del revestimiento refractario,
- Reducción del personal operativo por turno,
- Reducción de costos de producción.

2. Reemplazo del 25% de cal dolomítica por caliza dolomítica Shougang.

- **Objetivo:**

A las temperaturas de trabajo, lograr las siguientes reacciones dentro del convertidor con una consecuente mayor emulsión y cinética de reacción metal / escoria:



En otras palabras, se desea lograr la calcinación de la caliza dolomítica Shougang (caliza cruda) al ser añadido al convertidor LD como fundente. La generación de CO y CO₂, al aumentar la cinética de reacción metal-escoria, lograra una mejor agitación del baño metálico, además de reducir costos de proceso por el menor precio de la caliza cruda.

- **Composiciones químicas (promedio):**

Cal dolomítica: 63% CaO, 23% MgO,

Caliza dolomítica Shougang: 67% CaCO₃, 29% MgCO₃,

- **Costos (Agosto 2008):**

Cal dolomítica: 182 US\$/t,

Caliza dolomítica Shougang: 37 US\$/t.

- **Cantidad a reemplazar:**

Según padrón de soplo la secuencia de adiciones de cal y las cantidades son como sigue:

Inicio de soplo:

Cal cálcica: 1500 +/- 500 Kg.

Cal dolomítica: 1500 +/- 500 Kg.

Minuto 4':

Cal cálcica: 300 +/- 300 Kg.

Cal dolomítica: 300 +/- 300 Kg.

Minuto 8':

Cal cálcica: 100 +/- 100 Kg.

Cal dolomítica: 100 +/- 100 Kg.

Cantidad a reemplazar:

Minuto 4': Caliza dolomítica: 300 Kg.

Cal dolomítica: 300 +/- 300 Kg.

Minuto 8': Caliza dolomítica: 100 Kg.

Cal dolomítica: 100 +/- 100 Kg.

- **Ganancias:**

Ahorro por colada: (400 Kg.) * (182 – 37 US\$/t) = US\$ 58

Ahorro mensual: US\$ 58 * 38 coladas * 30 días = US\$ 66 120

Ahorro anual: US\$ 66120 * 12 = US\$ 793 440

3. Cambio del Padrón de cal para protección del revestimiento refractario.

- **Objetivo:**

Antes de realizar las cargas metálicas, se adicionaran al convertidor vacío aprox. el 15% de las cales totales agregadas durante el soplo. Esto evitará el desgaste por impacto del revestimiento al cargar la chatarra además de evitar un desgaste prematuro de la solera. Por otro lado se obtendrá un mayor aprovechamiento de la cal así tenga gran cantidad de finos, ya que en esa etapa aun no hay tiro.

También se disminuirá la adición de cales en el inicio de soplo.

- **Costos (Agosto 2008):**

Cal cálcica: 138 US\$/t,

Cal dolomítica: 182 US\$/t.

- **Padrón propuesto:**

Carguío:

Cal cálcica: 300 Kg.

Cal dolomítica: 300 Kg.

Inicio de soplo:

Cal cálcica: 1000 +/- 500 Kg.

Cal dolomítica: 1000 +/- 500 Kg.

Minuto 4':

Cal cálcica: 300 +/- 300 Kg.

Caliza dolomítica Shougang: 300 +/- 300 Kg.

Minuto 8':

Cal cálcica: 100 +/- 100 Kg.

Caliza dolomítica Shougang: 100 +/- 100 Kg.

Se esta dejando de adicionar 200 kg de cal cálcica y 200 kg de cal dolomítica por colada.

- **Ganancias:**

Ahorro por colada: 200 Kg * (138 + 182) US\$/t = US\$ 64

Ahorro mensual: US\$ 64 * 38 coladas * 30 días = US\$ 72 960

Ahorro anual: US\$ 72 960 * 12 = US\$ 875 520

4. Elaboración de Padrón de soplo para %Si altos (> 1.5%) en el arrabio.

- **Objetivo:**

Dar una alternativa al procesamiento de arrabio líquido con composición química fuera de especificación, ya que el arrabio con estos tenores de Si se rechaza.

- **Reacciones Químicas:**

Las principales reacciones formadas en la primera etapa de soplo son:

- $\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{FeO}$
- $\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO}$
- $\text{C} + \text{FeO} = \text{Fe} + \text{CO}$
- $\text{Si} + 2\text{FeO} = 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$
- **$\text{SiO}_2 + 2\text{CaO} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$**
- $2\text{P} + 5\text{FeO} = 5\text{Fe} + \text{P}_2\text{O}_5$
- **$\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{CaO} = 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$**
- $\text{Mn} + \text{FeO} = \text{Fe} + \text{MnO}$

Condiciones de desfosforación:

- Alto volumen de escoria (%Si arrabio),

- Altos tenores de FeO y CaO en escoria,
- Baja temperatura,

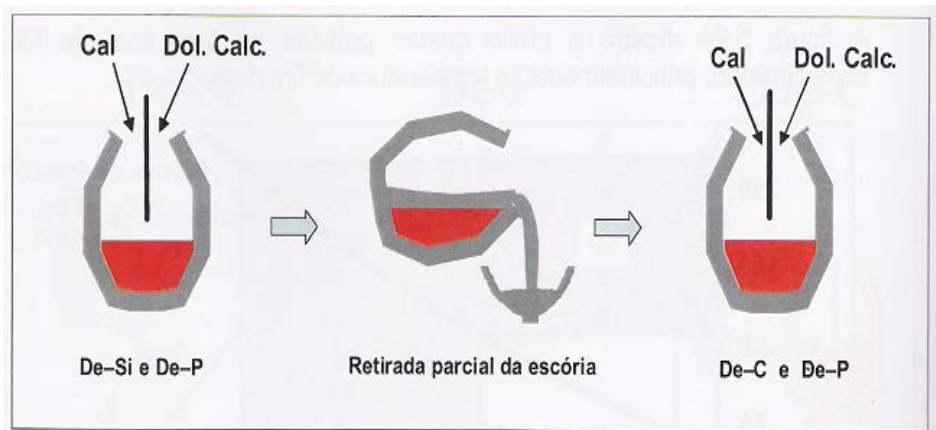
FeO y MnO promueven la formación de escoria reactiva, dado que aumentan la fase líquida en la escoria, acelerando la disolución de la cal, beneficiando la desfosforación.

- **Padrón propuesto:**

Como se observa, se debe detener el proceso una vez concluida la 1era etapa de soplo (6'), para escoriar, y luego continuar con el proceso.

Fundentes	Cal calcica
	Mineral de Mn
Soplo	
	6' 12' 18'
DeP - DeSi	Escoreo (2')
C: 4.2	C: 3.8
Si > 1.5	Si > 0.20
Mn: 0.10	Mn: 0.03
P > 0.080	P = 0.040
S > 0.060	S > 0.050
T = 1300C	T = 1450C

Luego del escoriado, se trabajará con un acero inicial, con tenores bajos de silicio y fósforo, dado que el mayor porcentaje de los mismos, pasó a la escoria en forma de óxidos, con la ayuda de la cal adicionada y el mineral de manganeso que acondiciona la escoria, según las reacciones mostradas anteriormente. Se muestra el siguiente esquema ilustrativo del procedimiento descrito.



Desfosforación / Desiliciado de arrabio en el convertidor

Cabe indicar que este procedimiento solo se realizara cuando se trabaje con 2 convertidores en forma alternada a la coco_3 , o con uno solo para el lingoteamiento convencional, ya que el tap to tap de estas coladas es mayor.

- **Ganancias:**

Las ventajas de considerar este padrón cuando se presenten las circunstancias señaladas son:

- Ampliar el rango de aceptación del tenor de silicio en el arrabio liquido recibido de alto horno, y evitar así que se bote a la poza de emergencia,
- Minimizar riesgos de fuertes reacciones y/o proyecciones de acero/escoria durante el soplo, por trabajar con tenores altos de silicio, cuando se tienen muestras no representativas del arrabio con el que se trabaja,
- Reducción de resoplos por fósforo alto,
- Mayor vida útil del revestimiento refractario,
- Mayor control del proceso, seguridad del personal y equipos.

5. Establecer Procedimiento de limpieza diaria de lanza de oxígeno.

- **Objetivo:**

Evitar cualquier fuga de agua de refrigeración de lanza dentro del convertidor, situación que posee una alta severidad de potencial de perdida tanto de personas como de equipos y paralización de procesos.

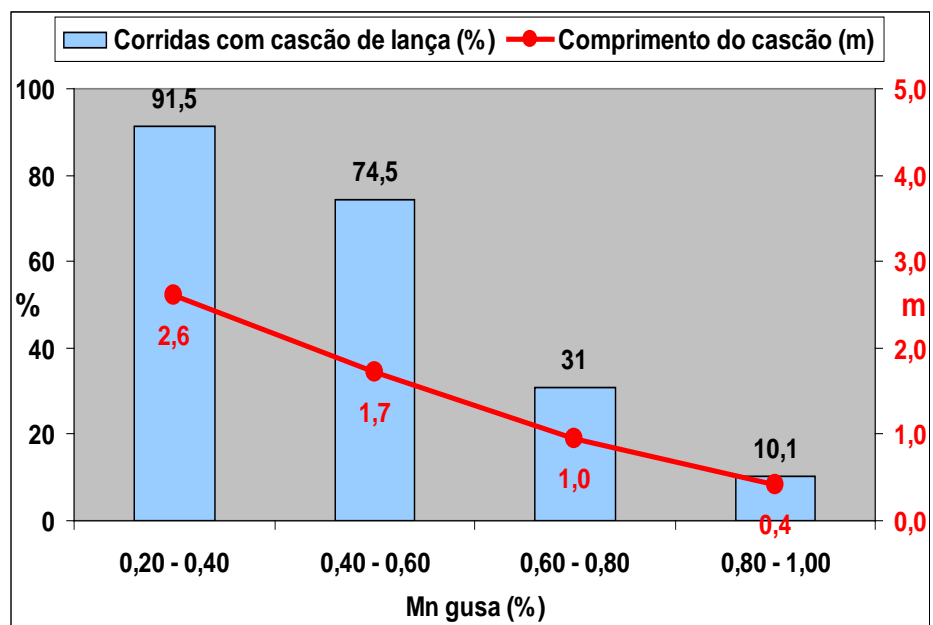
- **Fundamento teórico:**

El tenor de Mn en el arrabio tiene una nítida influencia en la formación de escoria en la primera etapa de soplo, debido a su oxidación simultánea con el silicio. Tenores muy elevados tienden a fluidificar en demasía la escoria aumentando su reactividad, tornando su emulsión más descontrolada promoviendo la incidencia de proyecciones fuertes de escoria. Por otro lado, tenores bajos acarrear una escoria inicial viscosa, agravando el fenómeno de proyección de

metal al inicio do soplo y aumentando la formación de champas (cascão) en la boca del convertidor e incrustaciones en la lanza de oxigeno.

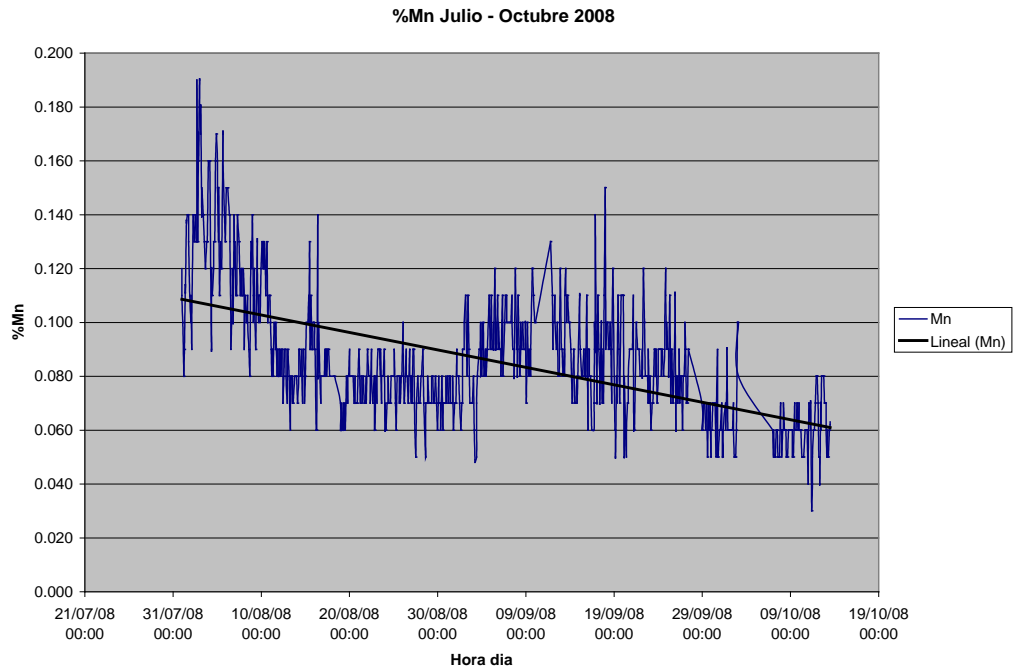
Así, el tenor ideal de manganeso del arrabio debe ser un compromiso entre estos dos fenómenos, ya que ambos causan grandes trastornos operacionales y afectan el rendimiento metálico.

A continuación se presenta un cuadro ilustrativo con datos de acerías con grandes variaciones de Mn en el arrabio.



Influencia del Mn del arrabio en la formación de champas en la lanza O₂

En Siderperu, tenemos este problema de formación de champas en lanza de oxigeno, boca del convertidor y en la parte inferior del sistema de lavado de gases, debido a los bajos tenores de manganeso en el arrabio de alto horno, como se muestra en la siguiente grafica.



Tenor de Mn en el arrabio líquido, Jul. – Oct. 2008

Principales factores que influyen en el comportamiento del Mn a fin de soplo son:

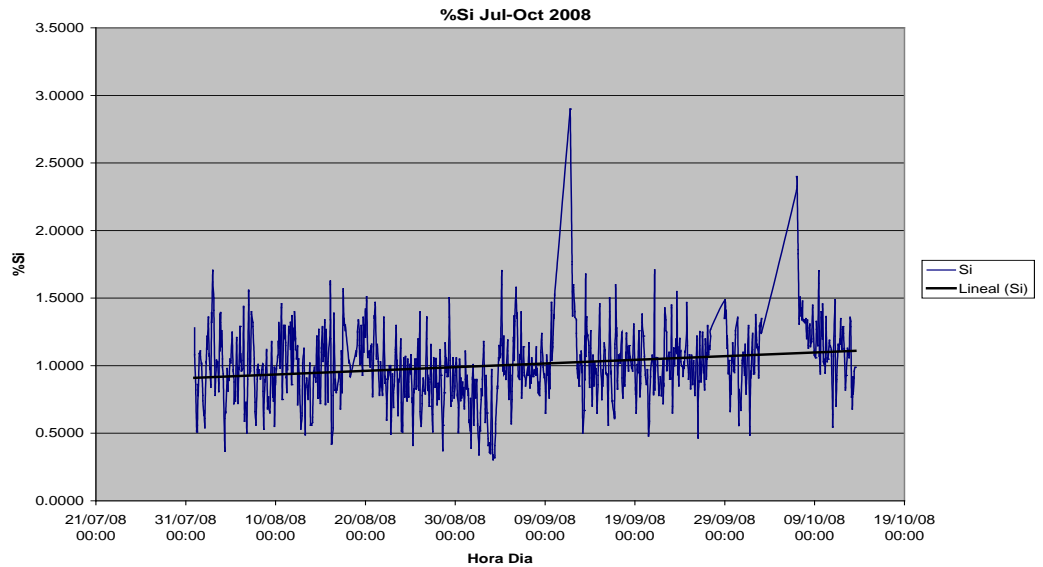
- Cantidad de Mn cargado,
- Volumen de escoria formado,
- Nivel de oxidación,
- Temperatura.

Si queremos maximizar el Mn en el acero, tenemos que incrementar la actividad del MnO, es decir, su fracción molar en la escoria.

Esto se logra aumentando el Mn cargado o reduciendo el volumen de escoria. Como el volumen de escoria es función directa del Si cargado, conviene cargar arrabios con bajos tenores de Si y elevado Mn.

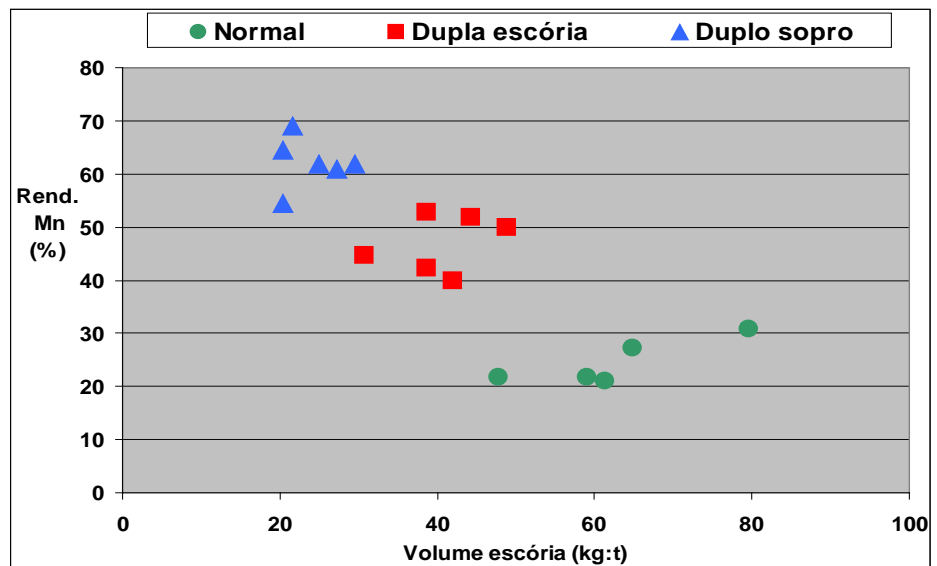
Mayor volumen de escoria produce reducción del MnO debido a su dilución, conjuntamente con la dilución del FeO de la escoria y un aumento de temperatura.

En Siderperu, además de trabajar con tenores bajos de manganeso, también lo hacemos con tenores altos de silicio, esto debido a una constante variabilidad en la composición química del arrabio, lo que es perjudicial para etapas posteriores de tratamiento como sucede en los convertidores LD.

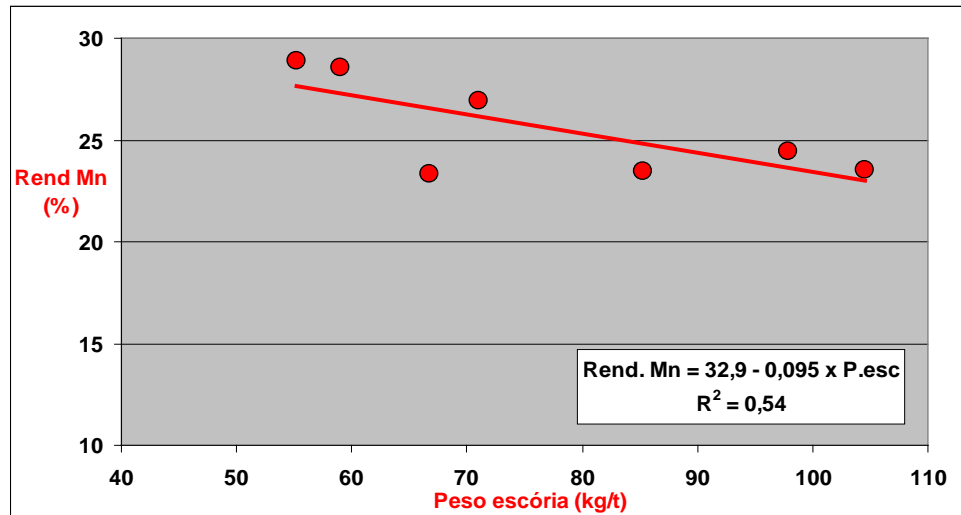


Tenor de Si en el arrabio liquido, Jul. – Oct. 2008

A continuación se muestran dos graficas con datos de acerías brasileras, donde se demuestra el efecto del peso y volumen de la escoria en el rendimiento del manganeso.



Rendimiento del Mn en función del volumen de escoria



Rendimiento del Mn en función del peso de la escoria

- **Procedimiento:**

Mientras se tengan constantes variaciones en la composición química del arrabio, %Mn bajos y %Si altos, se realizará la limpieza de las lanzas de oxígeno, manteniendo una optima operatividad, cada 2 días inicialmente, y luego a diario o cada 20 coladas.

Lo importante es mantener las lanzas libres de champas de metal/escoria que recalientan el cuerpo y la cabeza de lanza produciendo posteriores perforaciones o deficiencias en el sople.

Por otro lado, es ideal, que en la Planta de Hierro se lleve un mejor control de las materias primas que ingresan al Alto Horno, para conservar una homogeneidad en el producto, se use en mayor proporción el mineral de manganeso, además de reducir algunos fundentes como el cuarzo (fuente de sílice).

- **Ganancias:**

Entre las principales ventajas, podemos mencionar:

- Mayor estabilidad en el proceso del convertidor LD,
- Mejores condiciones de trabajo, tanto para el personal como para los equipos,
- Reducción de desvíos de calidad, por deficiencias en el sople,
- Reducción de arrabio liquido enviado a la poza de emergencia,
- Menores costos de producción.

6. Otros proyectos de mejora.

Adquisición de un Horno Cuchara para la Línea de Producción LD.

* Objetivo:

Hacer un estudio de pre-factibilidad para la adquisición de un horno cuchara para los Convertidores LD, reduciendo el tiempo de proceso en estos equipos, así como los desvíos de calidad y asegurar secuencialidades en la colada continua mas prolongadas.

* Cuadro con ventajas económicas (\$/año):

VENTAJAS ECONOMICAS CON EL USO DE UN HORNO CUCHARA EN LA VIA CONVERTIDORES LD					
#	ITEM	BENEFICIO DIRECTO	CANTIDAD	GANANCIA \$/año	
1	REDUCCION DEL TAP TO TAP	INCREMENTO DE LA PRODUCCION	Trabajando con 01 LD	20592 ton/año	3088000
			Trabajando con 02 LD	41184 ton/año	6176000
2	REDUCCION DE DESVIOS	CHATARRA DEJADA DE PRODUCIR	2816 ton/año	422400	
3	INCREMENTO DE LA CARGA FRIA	MENOR CONSUMO DE ARRABIO	De 88% a 85% x colada	4976779	
4	REEMPLAZO DEL FeMn(Std) POR EL FeSiMn	MENOR CONSUMO DE FeMn(Std)	De 80% a 14% x colada	933125	
5	INCREMENTO VIDA DEL REFRACTARIO	MAS COLADAS POR REVESTIMIENTO	De 4000 a 4500 coladas	24500	
6	REDUCCION ARRABIO ENVIADO A LA POZA	MENOR PRODUCCION ARRABIO SOLIDO	3300 ton/año	33000	
7	REDUCCION DE PERSONAL POR TURNO	BAJAR SOBRETIEPOS	De 5 a 0 ST/día	34100	

* Cálculos realizados:

➤ *Ganancia total al año:*

Considerando que se trabajará con los 2 LD, ocho meses al año, con solo 1 LD por tres meses al año, y el mes restante de mantenimiento al horno cuchara, produciendo durante ese periodo directo para la colada continua, o convencional.

Ganancia total anual: 11 300 000 \$/año.

➤ **Costo de transformación en el horno cuchara:**

Restamos el costo por el procesamiento del acero en el horno cuchara, en este caso, estamos hablando de 11 meses de producción por esta vía.

Costo de transformación HC: 7 \$/ton.

Costo de transformación HC: 2 900 000 \$/año.

➤ **Costo aproximado de un horno cuchara en el mercado europeo:**

Se realizaron algunos presupuestos para una capacidad de 30 ton., por información enviada se consiguió la siguiente oferta.

Costo de un Horno Cuchara: 20 000 000 \$.

➤ **Tiempo aproximado en el que se recuperaría la inversión:**

Por simple diferencia entre la ganancia y el costo de transformación en HC, y dividiendo el costo del equipo entre esa diferencia, tenemos:

$20000000 \$ / (11300000 - 2900000) \$/\text{año} = \mathbf{2.5 \text{ años.}}$

*** Observaciones:**

- Las ganancias mas considerables son, la reducción del tiempo de proceso (tap to tap) en LD, ya que se elimina la etapa de muestreo (soplo a muerte); y el incremento de la chatarra como carga fría al convertidor, al ser ésta mas barata que el arrabio liquido reduce el costo de materias primas, ésto sin perjudicar la calidad del acero, ya que no se necesitan elevadas temperaturas al fin de soplo,
- Además, dependemos de una mayor producción de arrabio líquido en el Alto Horno, de aprox. 1500 ton/día.
- Los costos son aproximados y tomados según reportes del departamento de contabilidad en fecha enero 2008, fecha en que se hizo el estudio de este proyecto,

🚩 **Implementación del Soplo Combinado al Convertidor #01.**

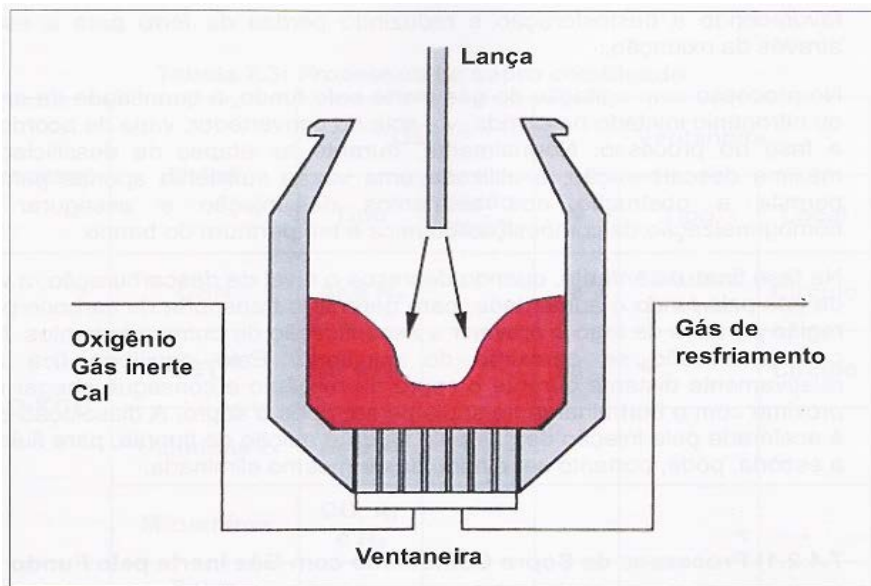
* **Objetivo:**

Aprovechar la gran cantidad de finos que produce la planta de cal para inyectar a través de toberas por la solera del convertidor #01 junto al oxígeno y gases inertes, logrando así una mayor cinética de reacción y mayores tenores de manganeso a fin de soplo.

* **Proceso Propuesto:**

Se sugirió hacer un estudio del proceso K-BOP, desarrollado por la Kawasaki Steel Corporation – KSC, donde el sistema de soplo combinado consiste en la inyección de oxígeno por el fondo a través de 6 toberas homogéneamente distribuidas. El 70% del soplo de oxígeno se realiza por la lanza y el 30% por el fondo, mezclado con argón o nitrógeno, además de los finos de cal.

Se muestra el siguiente esquema del sistema propuesto.

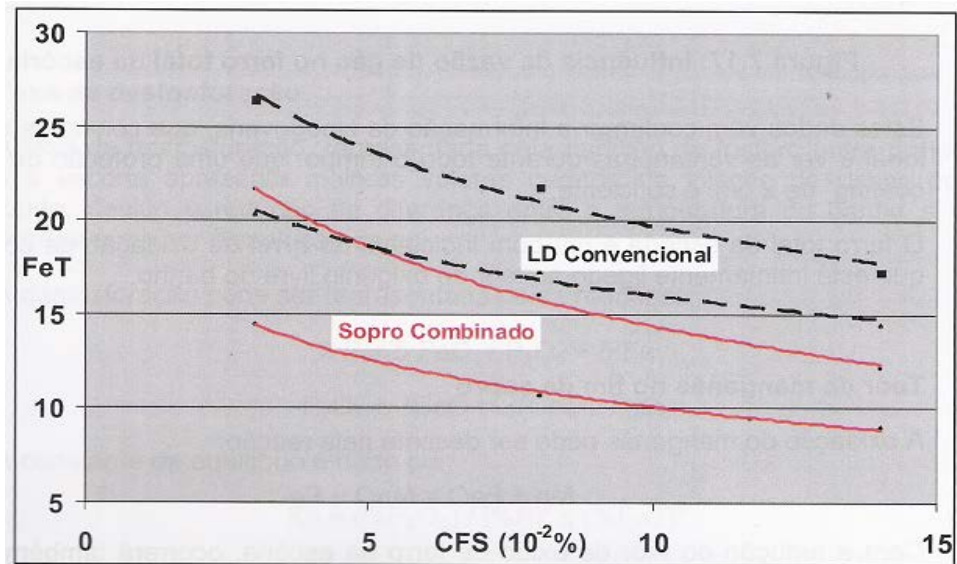


Proceso K-BOP

* **Cuadros Comparativos:**

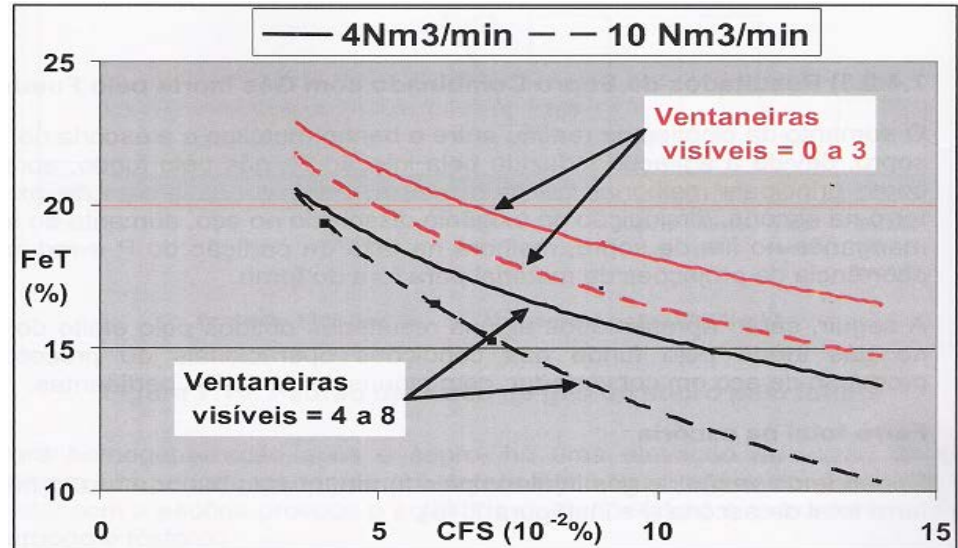
○ ***Fe total en la escoria:***

Depende del caudal de gas inyectado por el fondo, cuanto mayor es el caudal, menor será el Fe total en la escoria (FeT). Se ilustra en el siguiente gráfico.



Relación entre el Fe total de la escoria y carbono de fin de soplo

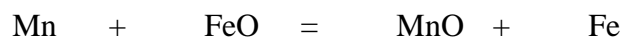
En la siguiente figura, se muestra la influencia de la visibilidad de las toberas (ventaneiras) en la eficiencia del soplo por el fondo, en este caso representado por el tenor de Fe total en la escoria.



Influencia del caudal de gas en el Fe total de la escoria

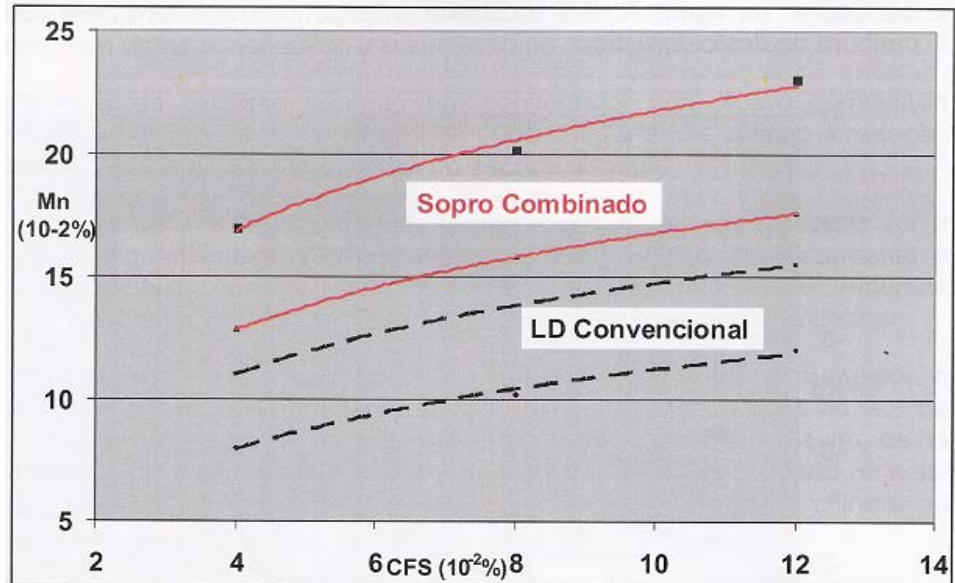
○ **Tenor de Mn a fin de soplo:**

La oxidación del manganeso puede ser descrito por la reacción:



Con la reducción del tenor de oxido de fierro en la escoria, ocurrirá también una reducción en la oxidación del manganeso por el FeO.

En la siguiente figura, son presentados datos de variación de Mn a fin de soplo en coladas con y sin soplo combinado.



Relación entre el manganeso y el carbono a fin de soplo

*** Otros beneficios:**

- Mayor rendimiento metálico,
- Mayor tenor de Mn a fin de soplo,
- Mejor desfosforación,
- Mejor desulfuración,
- Reducción de ratios de cal y ferro-aleaciones,
- Mayor cinética de reacción,
- Control del nivel de la solera,
- Reducción de costos de producción.