

65

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PROCESOS
BOF, LWS, OBM Y Q-BOP
PARA LA OBTENCION DE ACERO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

ALFREDO CASAS GUZMAN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Jesú
ADQ. Mt. 650
FECHA
PROC. 1975



QUÍMICA

PRESIDENTE: ING. NICOLAS JAIMES VILLAFÑA.

VOCAL: ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO.

SECRETARIO: MTRO. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA.

1er. SUPLENTE: MTRA. MA. EUGENIA NOGUEZ AMAYA.

2o. SUPLENTE: ING. HUMBERTO MALAGON ROMERO.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: SICARTSA, UNAM.

SUSTENTANTE: ALFREDO CASAS GUZMAN.

Alfredo Casas

ASESOR DEL TEMA: MTRO. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA.

Alejandro Espriu Manrique de Lara

Dado el momento histórico que estamos viviendo, importante es contemplar la difícil situación por la que atraviesa nuestra sociedad; centremos nuestra atención en la sociedad mexicana, que en última instancia refleja una buena parte de la problemática mundial. Palabras como "desempleo", "contaminación ambiental", "carencia de energéticos", "sobre población", - se oyen cada vez con mayor frecuencia.

Ante estos hechos, que para la mayoría re presentan una crisis, se buscan soluciones como la industrialización, el desarrollo del campo y la educación para solventar tan serios problemas. Bien puede decirse que la industrialización es un factor muy significativo en el desarrollo de un país, ya que sus resultados se pueden medir a corto plazo; tomando en cuenta - lo importante que es para México su desarrollo industrial y tratando de cooperar con dicho desarrollo, se ha elaborado el presente trabajo.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PROCESOS BOF, LWS, OBM Y Q-BOP,
PARA LA OBTENCION DE ACERO.

INDICE.	PAGINA
RESUMEN.	1
I.- INTRODUCCION.	6
II.- CONVERTIDORES CON SOPLADO DE OXIGENO POR ARRIBA.	19
2.1.- Proceso BOF (Basic Oxygen Furnace).	
2.1.1.- Antecedentes.	
2.1.2.- Descripción y características técnicas de operación.	22
III.- CONVERTIDORES CON INYECCION DE OXIGENO POR ABAJO.	34
3.1.- Proceso LWS (Loire/Wendel - Sidelor/Sprunck).	
3.1.1.- Antecedentes.	
3.1.2.- Descripción y características técnicas de operación.	36
3.2.- Proceso OBM (Oxygen Boden Blasen Maxhütte).	40
3.2.1.- Antecedentes.	
3.2.2.- Descripción y características técnicas de operación.	41

	Página
3.3.- Proceso Q-BOP (Quiet or Quick Basic Oxygen Process).	57
3.3.1.- Antecedentes.	
3.3.2.- Descripción y características técnicas de operación.	59
IV.- FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE REFINACION DEL ACERO CON OXIGENO EN CONVERTIDORES.	68
4.1.- Generalidades.	
4.2.- Posibles Mecanismos de Reacción en la Refinación.	84
V.- TABLAS COMPARATIVAS.	94
5.1.- Datos de operación de convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Proceso LWS, OBM Y Q-BOP).	
5.2.- Datos de operación de convertidores con insuflado de oxígeno por arriba (BOF) y en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (LWS, OBM y Q-BOP).	99
5.3.- Comparación de datos de operación entre convertidores con soplado de oxígeno por arriba o por inyección de oxígeno por el fondo.	122
VI.- ANALISIS DE PROCESOS.	131
6.1.- Método de evaluación de procesos.	
6.2.- Tabla de resultados de la comparación.	147
VII.- EVALUACION ECONOMICA.	155

	Página
VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	161
BIBLIOGRAFIA.	168
APENDICE.	179
RECONOCIMIENTOS.	

R E S U M E N :

El propósito de este estudio, es el de establecer una comparación entre los procesos de aceración, en convertidores con insuflado de oxígeno por la boca (BOF o L.D.) y en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Procesos LWS, OBM y Q-BOP).

Esta comparación se realiza tomando como base, las características metalúrgicas del proceso, la eficiencia, la operación, el grado de aceptación actual, los futuros desarrollos, los costos de inversión inicial y los costos de producción.

En cada uno de los procesos se recopiló información concerniente al desarrollo histórico, las características técnicas y los datos de operación ; que sirvieron como antecedentes preparatorios para la elaboración de esta tesis; utilizando los datos de operación publicados en informes, revistas técnicas y visitas a instalaciones nacionales y extranjeras.

En el Capítulo I de esta tesis, se analiza el porqué, está siendo desplazado el proceso de aceración de Horno de Hogar Abierto por el Proceso BOF (Basic Oxygen Furnace), también llamado Proceso L.D. (Linz-Donawitz) con insuflado de oxígeno sobre el baño metálico.

En el Capitulo II, se describe en detalle el proceso BOF con insuflado de oxígeno por la boca del convertidor, dando sus datos de operación y exponiendo algunas de las ventajas y desventajas del insuflado de oxígeno por arriba.

En el Capitulo III, se describen los procesos de aceración - en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo. Es importante hacer notar que la información sobre los procesos LWS (Loire/Wendel-Sidelor/Sprunck), OBM (Oxygen Bodenblasen Maxhüette o Oxygen Bottom-Blown Maxhüette) y del proceso Q-BOP (Quiet or Quick Basic Oxygen Process) es limitada, en vista de lo novedoso del proceso de insuflado por el fondo; es de considerar que estos procesos surgieron a partir de 1965 y que actualmente, se encuentran ya instalados a escala industrial.

En este Capitulo, se describe cada uno de estos procesos proporcionando los datos de operación y las características técnicas de los procesos de inyección de oxígeno por el fondo.

Una vez expuestas las características técnicas de los procesos de insuflado de oxígeno, por la boca del convertidor BOF y de los procesos LWS, OBM y Q-BOP con inyección de oxígeno por el fondo, fué necesario estudiar los fundamentos del proceso de aceración en convertidores con soplado de oxígeno.

En el Capitulo IV, se hace una comparación de las reacciones y

posibles mecanismos en la oxidación del carbono, silicio, fósforo, azufre y manganeso que suceden en convertidores con insuflado de oxígeno por arriba (BOF) y en convertidores con --inyección de oxígeno por el fondo (LWS, OBM y Q-BOP).

Para la evaluación de los datos obtenidos de cada proceso, se elaboraron en el Capítulo V, cinco tablas comparativas:

La primera tabla contiene, los datos de operación obtenidos de la bibliografía disponible de los procesos con inyección de oxígeno por el fondo, (LWS, OBM y Q-BOP) de cinco instalaciones en el mundo.

La segunda tabla, contiene el análisis de los parámetros técnicos de los procesos BOF, LWS Y OBM (o Q-BOP). En esta tabla se le asignó a cada parámetro, una prioridad de selección, con el objeto de evaluar cada proceso.

La tercera tabla, es una síntesis de las prioridades asignadas a los parámetros de cada proceso.

En vista de la desventaja del análisis de procesos por prioridades, se elaboró una última tabla, que contiene los rangos de operación de los parámetros técnicos de los procesos BOF, LWS y OBM.

Se procedió a evaluar estos datos, asignándoles un peso, según

la importancia del parámetro considerado y una calificación, que multiplicados entre sí, nos dan una calificación sopesada.

A continuación se presenta el resumen de la evaluación:

EVALUACION TECNICA FINAL

	PRIMER LUGAR	SEGUNDO LUGAR	TERCER LUGAR
PROCESO METALURGICO	OBM	LWS	BOF
CONSUMOS Y EFICIENCIA	OBM	BOF	LWS
FACILIDAD DE OPERACION	BOF	OBM	LWS
ACEPTACION DEL PROCESO	BOF	OBM	LWS
EVALUACION TECNICA FINAL	BOF	OBM	LWS

En el Capitulo VI, se expone el Metodo de Evaluación de Procesos ; exponiendo un ejemplo sencillo para ilustrarlo. En la segunda sección de este capitulo se encuentran los resultados de la comparación técnica de los procesos de aceración con insuflado de oxígeno por arriba y por abajo del convertidor.

Posteriormente, con el fin de tener el cuadro completo desde los puntos de vista Técnico y Económico, se hizo en el Capitulo VII, un estudio económico sobre los costos de capital y de producción de una acería BOF, LWS y OBM(Q-BOP), siendo el resultado, lo siguiente:

EVALUACION ECONOMICA

PROCESO	BOF	LWS	OBM
COSTO TOTAL \$ M.N./TONELADA	894.93 a 916.57	924.56	2,007.10

Finalmente, en el Capitulo VIII, se encuentran las Conclusiones y Recomendaciones ; listando las ventajas y desventajas del proceso de inyección de oxígeno por el fondo (LWS , OBM , Q-BOP), con respecto al soplado de oxígeno por arriba (BOF).

CAPITULO I

INTRODUCCION

La importancia de los procesos de aceración en convertidores al oxígeno y su lugar frente a los otros procesos, es vital en la selección del proceso adecuado para la producción de acero.

Si partimos de que la materia prima de cualquier proceso de aceración, es arrabio producido mediante la reducción de mineral de hierro dentro del alto horno; escorificantes como la piedra caliza; chatarra y las ferro-aleaciones necesarias para el ajuste de los elementos tales como silicio y manganeso para el caso de aceros comerciales. Es importante analizar los procesos de aceración existentes en el mundo para seleccionar el más adecuado.

Durante la refinación de arrabio se requiere de la absorción de oxígeno procedente de un producto oxidante. Para conseguir este objetivo, se han seguido desde hace muchos años diferentes caminos :

El primero de ellos, está basado en el Horno de Hogar Abierto (o Proceso **Siemens-Martin**), con aportación de calor externo y

oxidación de las impurezas del baño metálico por medio de la escoria y del mineral de hierro, ver figura de la página 10.

El segundo se basa en un convertidor, en el cual la oxidación se efectúa mediante aire soplado sobre el baño metálico y sin aporte alguno de calor exterior, aprovechando la energía producida durante las reacciones exotérmicas de oxidación de las impurezas. La diferencia entre ambos es tanto de naturaleza térmica como físico-química, lo que en el fondo significa, tener dos procesos totalmente diferentes de provocar las reacciones de oxidación durante la refinación del arrabio, para la producción de acero.

En el Horno de Hogar Abierto, ver figura de la página 8 , las reacciones se realizan por medio de la escoria, cuyo contenido es FeO , que oxida las impurezas del baño verificándose una migración lenta del oxígeno desde dicha escoria, hacia el baño, acompañado de un traspaso de las impurezas del baño hacia la escoria y humos producidos en el proceso.

El oxígeno necesario es suministrado por la llama y por el mineral (actualmente también por inyección de oxígeno puro por medio de lanzas o quemadores), permaneciendo el baño tranquilo con las dificultades que ésto representa para conseguir una rápida oxidación del carbono.

HORNO DE HOGAR ABIERTO

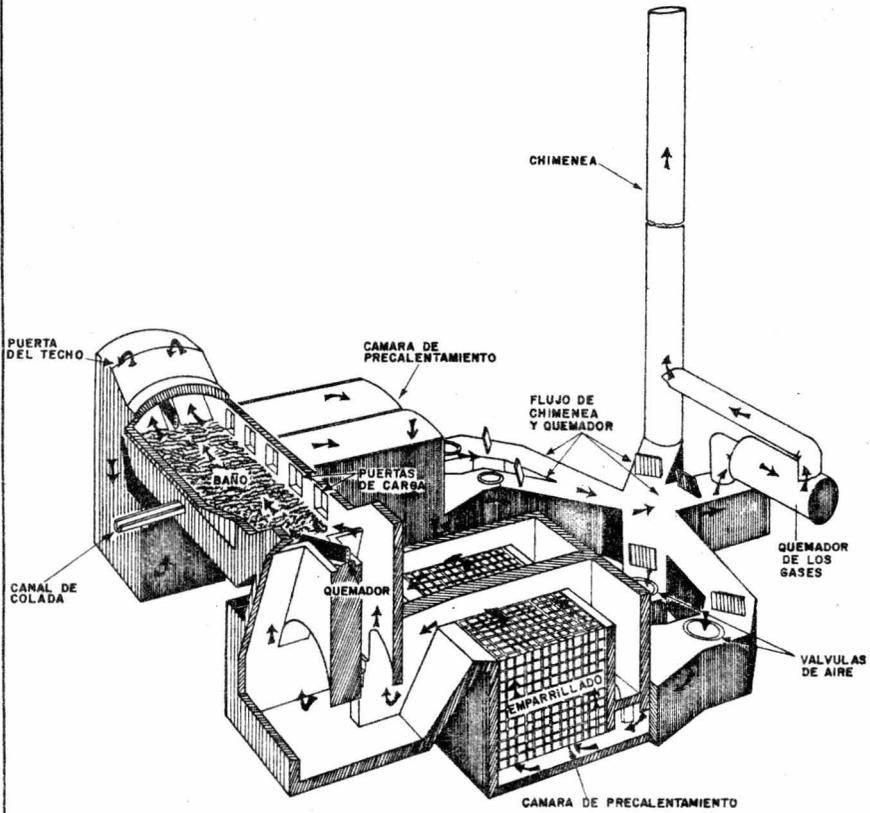


FIGURA 1-1

En el convertidor clásico por el contrario, las reacciones predominantes son las que tienen lugar a través de los sucesivos estados de equilibrio entre el baño metálico y el gas, ver figura de la página 25 .

El baño es agitado violentamente y las reacciones de oxidación del carbono se llevan a cabo antes que los otros elementos como por ejemplo el fósforo y el azúfre, que necesitan una escoria adecuada para oxidarse.

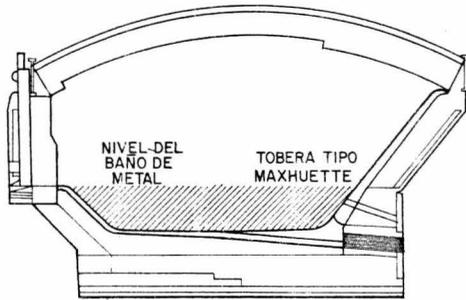
Ambos procedimientos tienen sus ventajas e inconvenientes, pudiéndose decir que :

El convertidor clásico necesita arrabios de composición tal que, la oxidación parcial o total de sus componentes pueda satisfacer las necesidades de la refinación (incluyendo en éstas la energía empleada en el calentamiento de un gran volumen de nitrógeno que no participa en el proceso).

En el caso del procedimiento Bessemer ácido, el fósforo y el azúfre no son escorificados en absoluto.

En el procedimiento Thomas, la rapidez de la descarburación dificulta la formación de una escoria reactiva, impidiendo una desfosforación desde el comienzo y postergandola hasta que se haya oxidado todo el carbono. Como es fácil comprender, una buena desfosforación puede conseguirse sólo a costa de una oxidación excesiva del acero.

HORNO DE HOGAR ABIERTO MODIFICADO O PROCESO S.I.P
(SUMERGED INJECTION PROCESS)



REACCIONES DENTRO DEL HORNO DE HOGAR ABIERTO

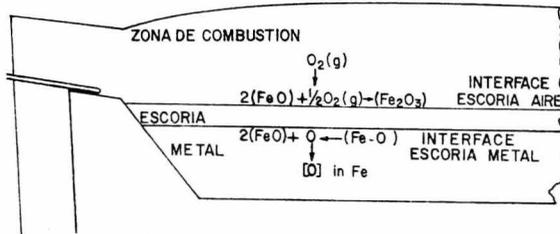


FIGURA 1-2

Los aceros soplados en el convertidor, presentan en su composición cantidades importantes de nitrógeno que empeoran sus propiedades mecánicas.

El Horno de Hogar Abierto necesita la aportación de calor exterior, debido a la lentitud de las reacciones por la dificultad de decarburar en un baño en calma. Su productividad horaria es mucho menor que la del convertidor y en conjunto el procedimiento resulta ser más costoso de instalar y de explotar.

La refinación de acero en el Horno de Hogar Abierto se lleva a cabo de 8 a 10 horas.

La refinación con oxígeno puro soplado por encima del baño, se puede considerar como una ayuda dentro del Horno de Hogar Abierto; por un lado su ventaja térmica es neta, ya que el calor originado por la combustión del carbono, es suficiente para afinar un arrabio y convertirlo en acero.

Por otro lado, la forma de inyectar el elemento oxidante (oxígeno de aproximadamente 99% de pureza), provoca una agitación diferente y menos violenta que la que existe en el convertidor -- Thomas o Bessemer, pero mucho más fuerte que la del Horno de Hogar Abierto. De esta manera, las condiciones en que se efectúa la refinación lo sitúan entre los dos procesos clásicos, --

siendo posible según la técnica operativa empleada, favorecer las reacciones entre escoria-metal o gas-metal. En ambos casos se puede formar una escoria fluída y reactiva capaz de iniciar la desfosforación antes de que se oxide todo el carbono del baño.

Esta situación intermedia desde el punto de vista físico-químico, permite intuir las grandes posibilidades que ofrecen - los nuevos procedimientos, dado que se puede conducir la refinación de uno u otro modo, según convenga, haciendo variar la naturaleza de las escorias formadas y su importancia relativa con respecto al papel desempeñado por las reacciones directas del oxígeno con el metal.

Evidentemente, las leyes de la termodinámica y de la cinética son generales para todos los procedimientos y no pueden variar metalúrgicamente entre si. Sin embargo, mediante técnicas de - operación adecuadas, se pueden obtener condiciones cercanas a las óptimas con las ventajas que ello significa para la rapidez y seguridad del proceso.

La tendencia generalizada consiste en la desaparición completa de los hornos Siemens Martin o de Hogar Abierto, con el incremento de acero producido por convertidores BOF y Hornos Eléctricos, ver figura página 13 , hasta encontrar una proporción-

HORNO ELECTRICO

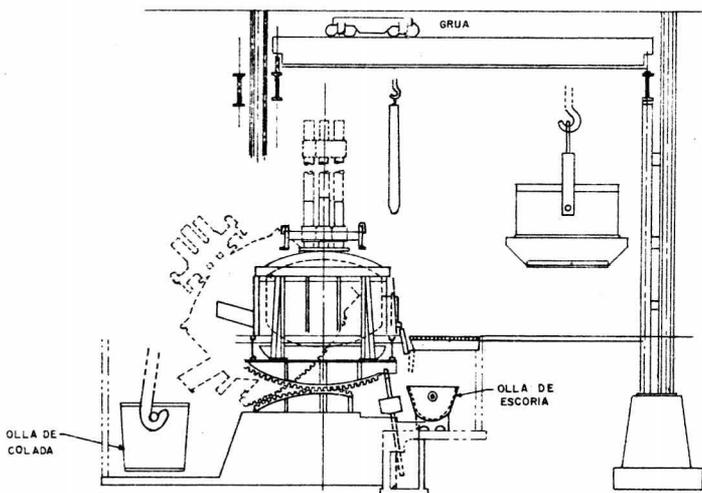


FIGURA 1-3

de 75% y 25% respectivamente. El único país que se sabe que ya ha llegado a este equilibrio es el Japón.

Para dar una idea del auge que ha tenido el proceso BOF - - (o L.D) en el mundo, a continuación se enlistan las producciones obtenidas partiendo del año de 1950 hasta 1980.

Producción de acero BOF en el mundo :

1950 - - - - -	0 TON.
1955 - - - - -	10,000.000 TON.
1960 - - - - -	30,000.000 TON.
1965 - - - - -	90,000.000 TON.
1970 - - - - -	280,000.000 TON.
1974 - - - - -	453,750.000 TON.

Y están en proyecto de instalación 163,200.000 Ton, esperandose una producción para :

1980 - - - - -	616.950.000 TON.
----------------	------------------

Que es el 43% de la producción mundial.

En la figura de la página 15 , aparece una gráfica del desarrollo que han tenido los procesos Siemens Martin o de Hogar Abierto, los Hornos Eléctricos, el proceso BOF Y el proceso - - Q-BOP (OBM), en los Estados Unidos de Norte América (Ref. B6).

DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE ACERACION EN LOS ESTADOS UNIDOS

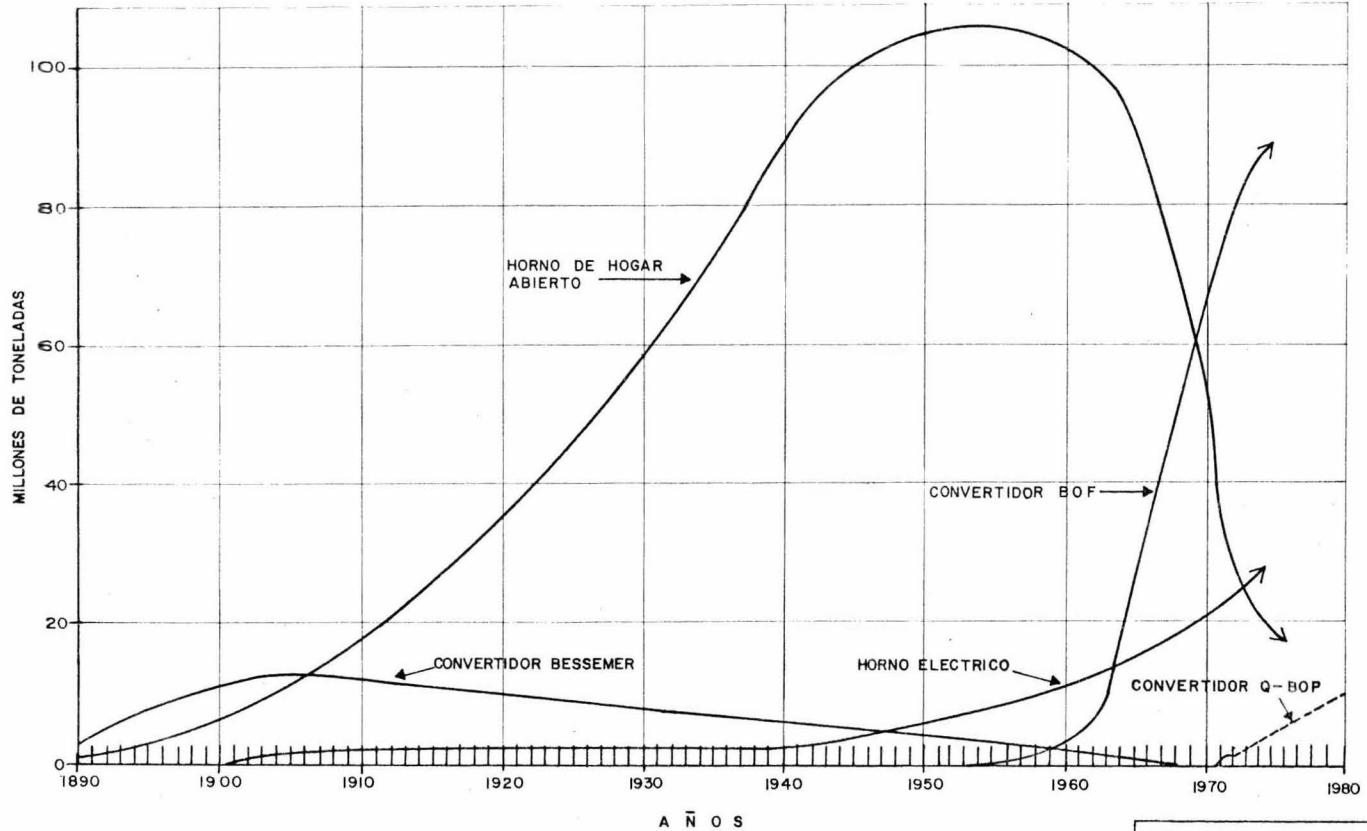


FIGURA: 1-4

REF. B6

Con la aparición de los nuevos procesos, surgió la necesidad de emplear las mismas instalaciones ya existentes, de tal modo, que primero se insufló oxígeno sobre la superficie del baño de metal, durante la refinación en Hornos de Hogar Abierto, por medio de una, dos o tres lanzas dependiendo del tamaño de los Hornos, con esto los tiempos de refinación se redujeron hasta 6 horas.

Posteriormente surgieron nuevos procesos de insuflado de oxígeno, como el proceso BOF (o L.D.).

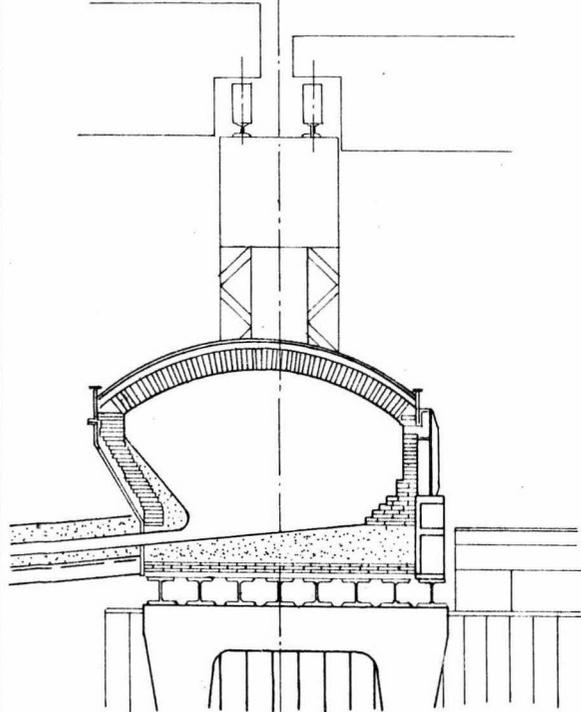
En la figura de la página 17 , se puede observar que se utilizaron las mismas instalaciones y edificaciones, para la instalación de los convertidores BOF con insuflado de oxígeno por arriba.

Actualmente están siendo substituidos los convertidores BOF, por convertidores LWS, OBM y Q-BOP, con inyección de oxígeno por el fondo.

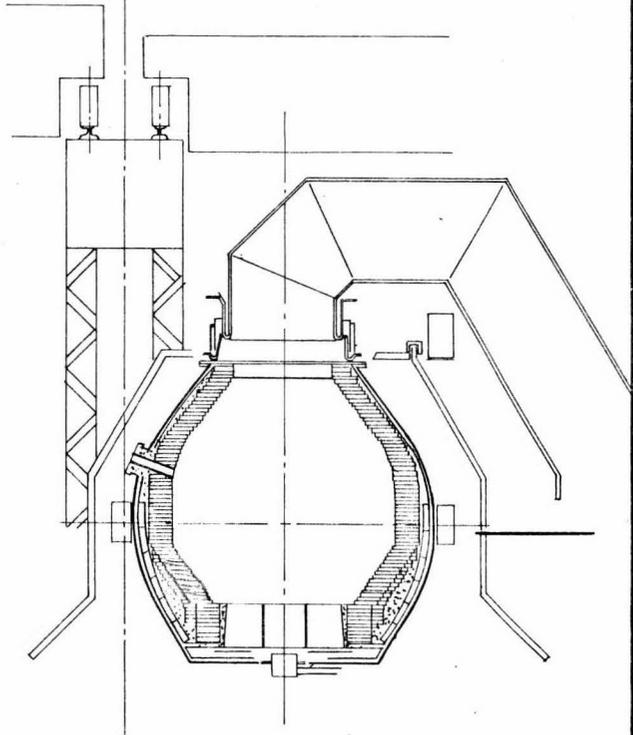
Esta tesis se elaboró, en vista de que en México, se produce acero, mediante sistemas o procesos que mundialmente están, día a día siendo obsoletos.

En México se produce un 49% de acero mediante Hornos de Hogar Abierto o Siemens Martin modificado; un 28% de acero con Hornos Eléctricos con insumo de fierro esponja y un 14% con carga de 100% de chatarra y un 9% de acero en convertidores BOF.

UTILIZACION DE LAS INSTALACIONES YA EXISTENTES DE LOS HORNO DE HOGAR ABIERTO
POR LOS CONVERTIDORES BOF



HORNO DE HOGAR ABIERTO



CONVERTIDOR BOF

FIGURA : 1-5

REF. 814

Es necesario que las Empresas Siderúrgicas Mexicanas, hagan una revisión de los procesos, con que actualmente están produciendo acero y que pongan atención a las últimas tecnologías que surgen en el mundo para la producción de Acero, como son los procesos de aceración en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo, procesos LWS, OBM y Q-BOP.

En el presente estudio se hace una comparación entre los procesos de aceración en convertidores con soplado de oxígeno por arriba (procesos BOF o L.D.) y procesos en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Procesos LWS, OBM y Q-BOP).

CAPITULO II

CONVERTIDORES CON SOPLADO DE OXIGENO POR ARRIBA :

2.1.- Proceso BOF (Basic Oxygen Furnace) :

2.1.1.- Antecedentes :

La idea de usar oxígeno puro para convertir el arrabio del Alto Horno en acero, fué sugerida en algunas patentes de Bessemer aproximadamente hace 100 años pero su uso no tuvo éxito por largo tiempo, debido al alto costo de separación del oxígeno del aire.

Aproximadamente hace 35 años se logró producir oxígeno puro a precios bajos, empezandose a usar en la fabricación de acero.

En 1940 fué utilizado aire enriquecido con oxígeno para insuflarlo al Convertidor Thomas.

La idea de soplar una corriente de oxígeno a cierta veloci--dad sobre la superficie del arrabio líquido en presencia de apropiadas escorias formadas, fué puesta en uso por el Profesor Robert Durrer de la Gerlafingen Works of Gesellschaft de Ludw, con Roll'schen Eisenwerke A.G. en Suiza. La instalación de un convertidor experimental de 3 tons. de capacidad fué construído en 1947 y la primera colada de aproximadamente -- 1 ton. de acero fué hecha en marzo de 1948.

Basado en este trabajo se instaló un convertidor con capacidad de 2 tons. en la Veresnigte Ostereichische Eisen und Sthalwerke (VOEST) en Linz, Austria y la primera colada se logró el 25 -- de Junio de 1949, surgiendo el proceso llamado L.D. (Linz - - Donawitz).

En Donawitz, Austria se hicieron trabajos en convertidores de 5 y 10 tons., mientras en Linz se usaron más tarde de 15 tons. En cada caso la Planta fué improvisada y operada junto a los - hornos de Hogar Abierto ya existentes.

Los convertidores de 10 y 15 tons. fueron probados por largo - tiempo para observar los aspectos económicos del proceso y ser evaluados con razonable exactitud, mientras los productos eran probados en todos los medios posibles, incluyendo el suminis-- tro a clientes en potencia.

Basados en los resultados satisfactorios de estas pruebas fué construída una Planta piloto en Linz, con capacidad anual de -- 250,000 tons, siendo lograda la primera colada el 27 de noviembre de 1952. Después se construyó una Planta en Donawitz , la- primera colada se produjo en mayo de 1953. La primera Planta - instalada fuera de Austria, fué Dominion Foundries, Hamilton, - Canadá que inició sus operaciones en agosto de 1954.

Los sistemas de operación del Proceso B.O.F. son todavía muy - similares a los de las primeras Plantas. Sin embargo, el tama- ño de los convertidores se ha incrementado hasta 385 tons. de-

capacidad. Los rangos de flujo de oxígeno también ha sido incrementado en proporción a la capacidad del convertidor, por lo que los tiempos de soplo no han variado con respecto a las Plantas originales.

En la primera Planta, el arrabio fué relativamente bajo en P y fué indicado originalmente, que el proceso únicamente podía reducir el contenido de P en un 90%. Ejemplo: Si la especificación del acero era 0.040% en P, el arrabio no debía exceder de 0.40%. Sobre este respecto, afortunadamente las primeras pruebas fueron hechas con arrabio relativamente bajo en P, de lo contrario el desarrollo del proceso posiblemente se hubiese demorado.

El desarrollo del Proceso B.O.F. ha sido excepcional. En 1957 la producción mundial de acero por este método fué aproximadamente 1%. Para 1960 se alcanzó casi 40 millones de tons. y en 1966 excedió los 100 millones de tons. por año, ésto es el 25% de la producción mundial; actualmente para 1980 se producirán 616.95 millones de tons. Las primeras aplicaciones fueron para expandir la producción de acero, pero las ventajas económicas son tales que, el proceso está reemplazando otros ya existentes, tendiendo a eliminar por completo los hornos de Hogar Abierto, en pocos años más.

Este método es aplicable a cualquier planta que tenga cantidades adecuadas de arrabio disponible y necesidad de aceros comer

ciales. Es especialmente aplicable para aceros de troquelado extra profundo, pero también se pueden producir aceros al carbón y aleados para muchos propósitos. Puede usar mineral o chatarra como refrigerante, pudiendo fundir hasta un 30%, lo cual está arriba del nivel promedio de chatarra en una Planta.

2.1.2.- Descripción del proceso:

El proceso es llevado a cabo en un recipiente cilíndrico cerrado en un extremo y con una boca concéntrica o excéntrica, ver figura de la página 23, en ambos casos el diámetro es considerablemente menor que el diámetro máximo del convertidor mismo.

La carga, compuesta principalmente por arrabio y chatarra, - que ocupa sólo una pequeña porción del volumen total, ver figura de la página 25, es refinada mediante un chorro de oxígeno de alta velocidad, inyectado por medio de una lanza refrigerada con agua, ubicada verticalmente sobre el baño metálico. La distancia entre la lanza y el metal puede variar durante el -soplado de 3 a 1 m aunque los límites usados difieren en cada Planta. (Ref. B32).

La alta velocidad del chorro de oxígeno, hace que éste penetre - a través de la escoria para chocar con el metal. En la pequeña área de impacto se produce un cráter caracterizado por la alta

TIPOS DE CONVERTIDOR BOF

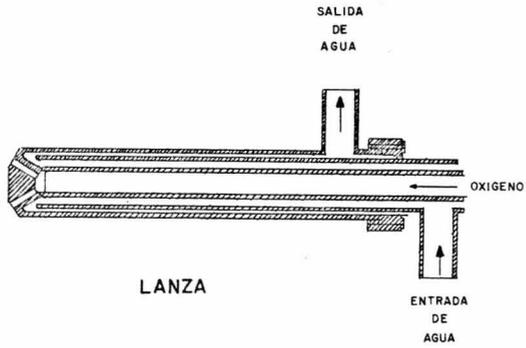
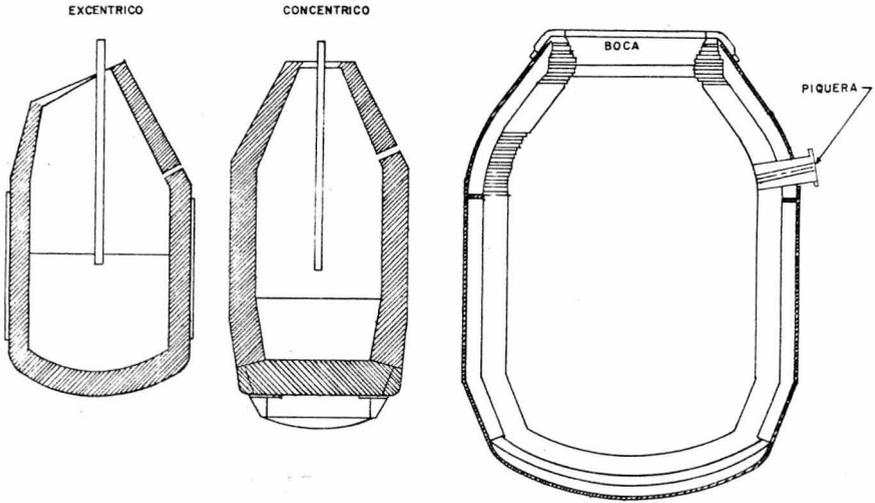


FIGURA 2.1.2-1

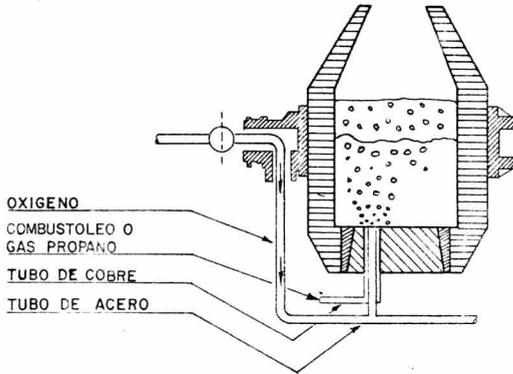
temperatura ($\pm 3,000^{\circ}\text{C}$) y por la violencia de las reacciones - que allí se desarrollan. (Ref. B29).

Los gradientes de temperatura, concentración y peso específico ocasionados por este centro de reacción originan una efervescencia violenta del baño. Se agrega a este fenómeno el desprendimiento de CO que contribuye eficazmente a la mezcla metal - escoria, acelerando la refinación. Las proyecciones de metal y - escoria de la zona de impacto están constituidas por Fe° , óxidos de hierro y por los óxidos de las impurezas del arrabio. La - cal agregada forma una espuma, que recibe estos óxidos para dar origen a una escoria flúida y altamente reactiva, condiciones - esenciales para una buena desulfuración y defosforación de la - carga. Esta escoria por razones metalúrgicas debe dar origen - a un abundante espumado, que ocupará gran parte del volúmen del convertidor, circunstancia que caracteriza el proceso, ver página 25 .

La operación se conduce de manera que el Carbono se oxide en su mayor parte solamente a CO y escape en los gases como tal. Térmicamente representa una desventaja, pero al mismo tiempo, hace menos severas las condiciones de operación disminuyendo las - altas temperaturas que se desarrollarían en la boca del convertidor si todo el C se oxidara a CO_2 , con las consecuencias que ésto significa para la vida del refractario.

Durante la etapa de soplado es preciso mantener en todo instan-

CONVERTIDOR CON INYECCION DE OXIGENO POR EL FONDO
(PROCESO LWS, OBM Y Q-BOP)



CONVERTIDOR CON INSUFLADO DE OXIGENO POR ARRIBA
(PROCESO BOF)

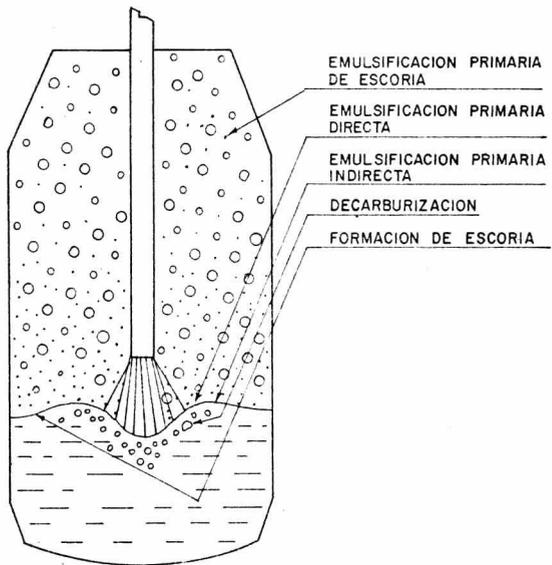


FIGURA 2.1.2-2

te la alta presión del chorro de oxígeno a fin de evitar la formación de óxidos en la escoria, fenómeno que se caracteriza por erupciones violentas seguidas de períodos de calma, con descarga de grandes cantidades de metal y escoria por la boca del convertidor. Por otra parte, si la penetración del chorro permanece constante, el tiempo de soplado es fijo (oscila entre 15 y 24 min), y es independiente del tamaño del convertidor; es decir, la producción es función de la carga del mismo.

Es lógico pensar que un proceso que trabaja según las condiciones expuestas, necesita una disposición racional de los elementos y equipos destinados a la carga de arrabio, chatarra, cal, fundentes y de aquellos sistemas de manejo de residuos del proceso, como escoria y gases con un sistema de tratamiento y limpieza.

Características Técnicas de Operación :

Como se mencionó anteriormente, en este proceso, se insufla -- oxígeno puro por la boca del convertidor, por medio de una lanza con un tubo concéntrico central por el cual fluye oxígeno - con un gasto que puede variar entre 500 - 700 m³/minuto y por el tubo externo hay un flujo de agua de refrigeración para proteger la lanza, ver página 23 .

La distancia entre la nariz de la lanza y la superficie del me

tal líquido es regulable a lo largo del proceso desde 15 hasta 1.5 metros, que es la distancia normal de operación. La altura necesaria para la instalación de una lanza es de 45 metros, requiriéndose un edificio de 60 metros de altura, ver página 53.

La fuerza con que se proyecta el chorro de oxígeno, hace que la escoria sea desplazada lateralmente, hasta establecer un contacto íntimo con el metal líquido.

Durante la reacción de oxidación de las impurezas, hay formación de una escoria con la cal y los fundentes agregados por la boca del convertidor. La cantidad de escoria formada varía entre 120 - 160 Kg/ton. de acero. Tiene una consistencia más o menos fluida y espumosa, que depende del contenido de FeO (19-25%). Durante la insuflación de oxígeno se producen pérdidas de metal por vaporizaciones debido a las altas temperaturas de reacción. Estas pérdidas son de aproximadamente 7.0 Kg. de FeO , -- 5.5 Kg. de Fe^o y 1.5 Kg. en forma de salpicaduras que suman un total de 14 Kg. de óxidos por tonelada de acero producido.

Este factor aumenta o disminuye la eficiencia metálica del proceso. Existe además una pérdida de energía requerida para la formación de las partículas de óxidos de hierro, siendo su entalpia de formación de 4,800 Kcal/kg de óxidos. Si la cantidad de óxidos disminuye, la energía aprovechable dentro del proceso aumentará. (Ref. B8).

La efectividad del proceso de desulfurización depende del contenido de FeO , de la solubilidad de la cal en la escoria y en gran parte de la forma de insuflación del oxígeno. El porcentaje de desulfurización posible en este proceso es de 10 - 30%.

La concentración de fósforo en el arrabio, es uno de los factores más importantes que hay que considerar para determinar el consumo de cal y de oxígeno. En este proceso se logran contenidos máximos de 0.05% P en el acero partiendo de un arrabio con 1.8% P.

Es importante considerar que en un convertidor de 200 ton el consumo de oxígeno es de 45 - 55 m^3/ton , con un gasto de 500 - 700 m^3/min a una presión de 10 - 12 Atm. La agitación del baño durante el soplado es deficiente, debido a la reducida área de contacto entre el chorro de oxígeno y el metal líquido. El tiempo total del proceso es de 40 - 45 min., ver apéndice A-1, y los tiempos de soplado son de 14 - 24 min. El consumo promedio de refractario es de 10 kg/ton y la vida del refractario del convertidor es de 500 - 600 coladas. El tipo de refractario que más comunmente se emplea es ladrillo de magnesita, con un desgaste promedio de 5 - 6 Kg/ton de acero producido, en tanto que los convertidores con revestimiento de dolomita impregnada con brea alcanzan una duración de 300 - 400 coladas únicamente. En Japón se logran 3,000 coladas por campaña de convertidor.

Un factor de gran importancia en el proceso es: el tiempo empleado en la reparación total del convertidor, que es de 98 - 122 hrs. De acuerdo a las estimaciones de disponibilidad de chatarra, en nuestro país, la carga del convertidor se podría hacer con 936 Kg de arrabio con un contenido de 94.5% Fe^o, 160 Kg de chatarra con 99.6% Fe^o, 50 Kg. de mineral, 57 kg. de pellet y un promedio de 20 Kg de adiciones. La eficiencia metálica del convertidor es de 85 -- 95%. La disponibilidad del convertidor es de 71% cuando se combina la producción de acero de 2 convertidores y una máquina de colada continua.

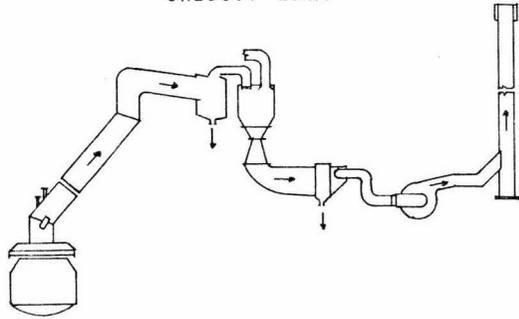
El sistema neumático de la lanza no es muy complicado y -- sólo requiere un sistema adecuado que nos proporcione el -- gasto de oxígeno necesario.

El sistema depurador y lavador de gases depende de la cantidad de gases y polvos producidos, en la figura 2.1.2-3 se -- presentan varios diseños.

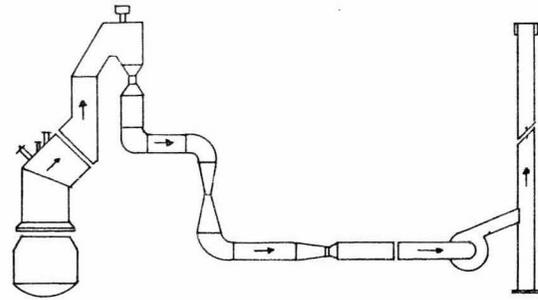
El sistema de carga sólo depende de los volúmenes de arrabio y de chatarra que se requieran.

Es necesario la instalación de tolvas de gran capacidad para el almacenaje de la piedra caliza, siendo necesaria la -- instalación de un transportador de banda, ver figura en la -- página 32 .

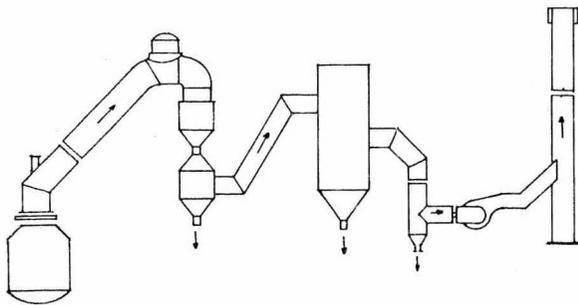
CREUSOT LOIRE



ASHMORES



DRAVO



GHH / KRUPP

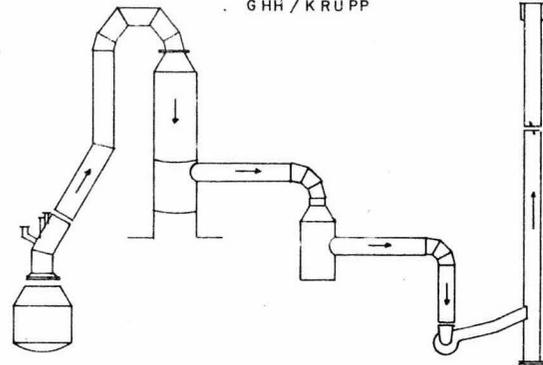


FIGURA 2.1.2-3

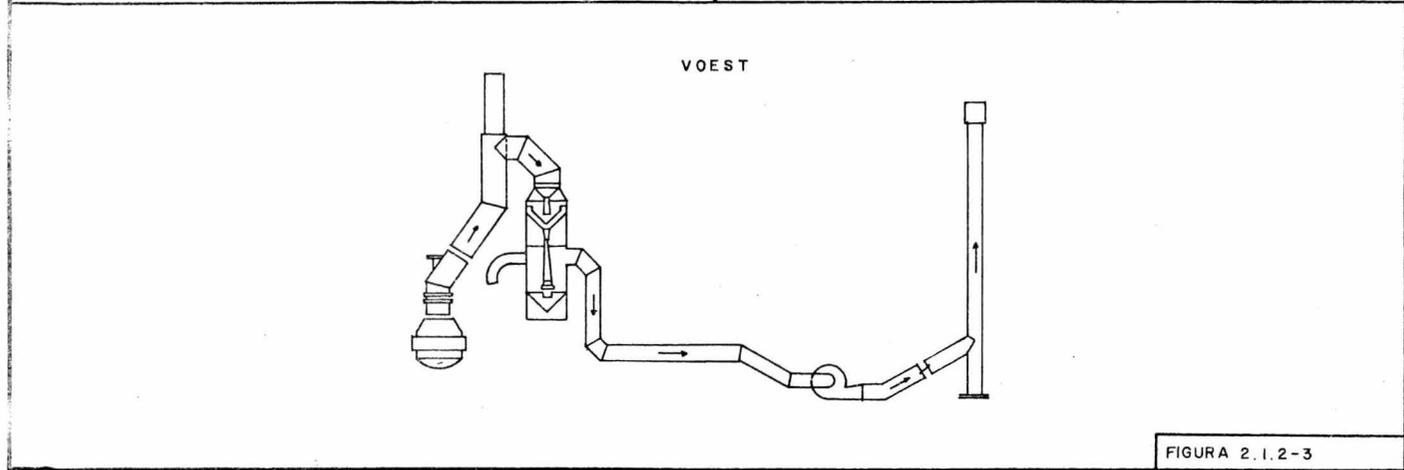
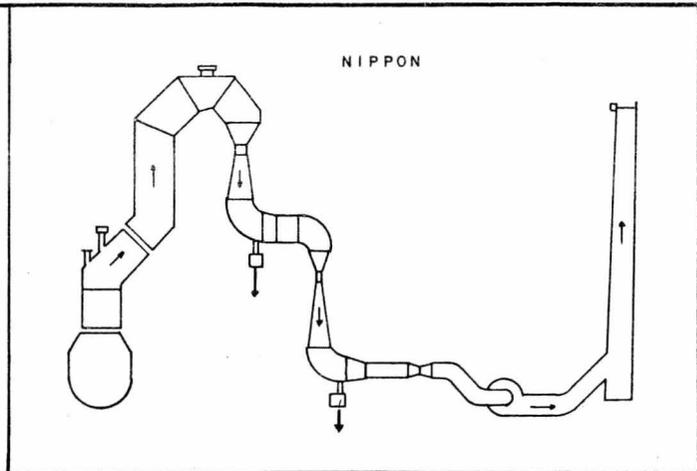
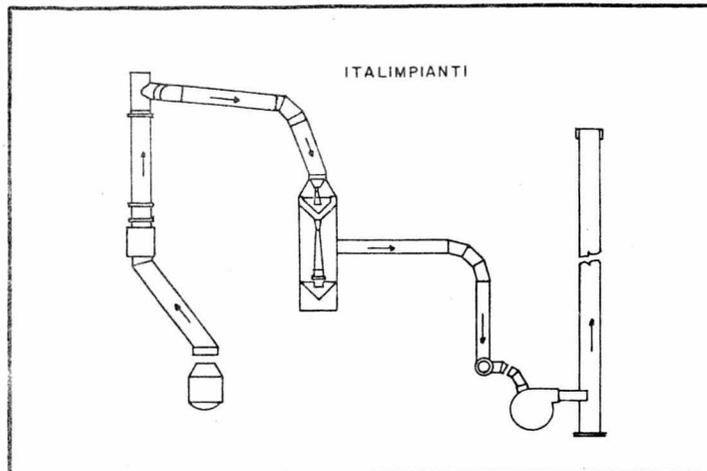


FIGURA 2.1.2-3

CONVERTIDOR BOF

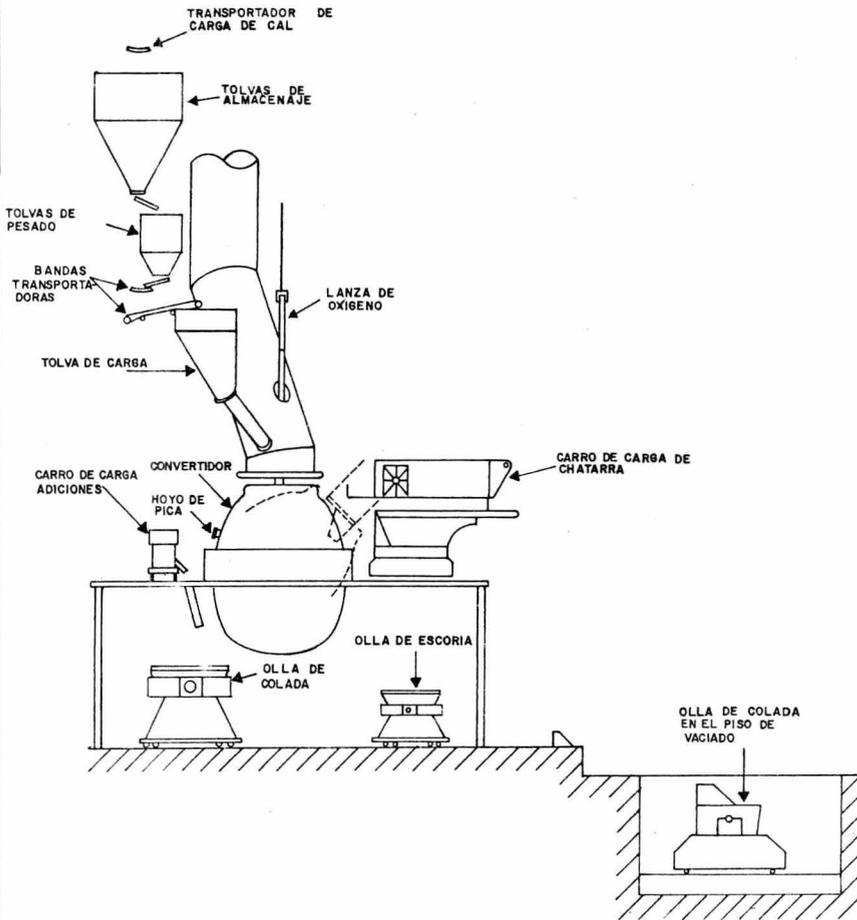


FIGURA 2.1.2-4

Entre los factores del balance económico es necesario mencionar que las semanas trabajadas al año son 50, con 20 turnos-- por semana, con un promedio de 11.7 coladas por turno y un - total de 35.1. coladas por día. La duración promedio de una campaña de convertidores es de 14.5 días y 5 días para la reparación total, lo cual nos da 17.1 campañas por año.

Cuando se tienen 2 convertidores, uno trabajando y otro en espera se pueden obtener hasta 12,150 coladas por año, logrando se una producción de 2,430,000 ton/año con convertidores BOF- de 200 ton.

Para 1980 habrá 601 convertidores BOF, con capacidades de - - 20 - 385 Ton con una producción anual de 616,950,000 ton. de acero.

En México se tienen instalados en Monclova, Coahuila, tres -- convertidores BOF, con capacidad nominal de 60 toneladas, construídos, diseñados e instalados por la Compañía Alemana "Demag " para Altos Hornos de México, S. A. (AHMSA).

En el apéndice A-2 (Ref.V1), se encuentran los consumos anuales y los promedios de algunos parámetros de operación.

CAPITULO III

CONVERTIDORES CON INYECCION DE OXIGENO POR ABAJO

3.1.- Proceso LWS (Loire/ Wendel-Sidelor / Sprunck) :

3.1.1.- Antecedentes :

En este convertidor, se emplea la inyección de oxígeno por el fondo.

El proceso fué desarrollado por Creusot-Loire y Wendel Sidelor, en colaboración con la firma Etablissement-Sprunck de Moyeuivre, Francia. El nombre de este proceso proviene de las siglas , Loire / Wendel-Sidelor / Sprunck.

En este convertidor se sopla oxígeno por el fondo a través del tubo concéntrico interior, (junto con cal en polvo) de una tobera y por el conducto exterior se inyecta combustible líquido, preferentemente combustóleo, ver figura de la página 35.

El proceso LWS ha sido utilizado industrialmente desde comienzos de 1971 en la acería de Rombas, que pertenece a la Sacilor (Ex-Wendel Sidelor) en un convertidor de 30 toneladas. También ha sido ensayado en un convertidor de 20 toneladas de la Societa des Hauts-Fourneaux de la Chiers, concesionaria de la Licencia del Proceso LWS.

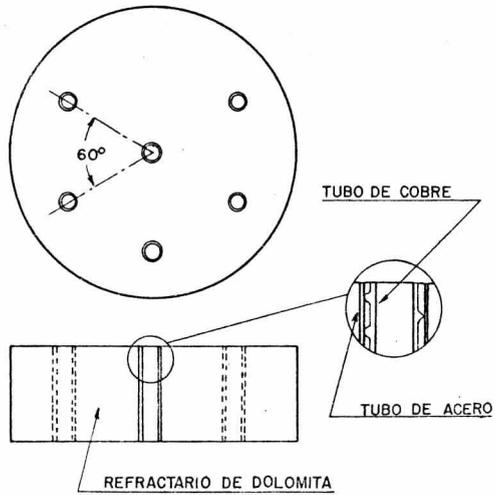
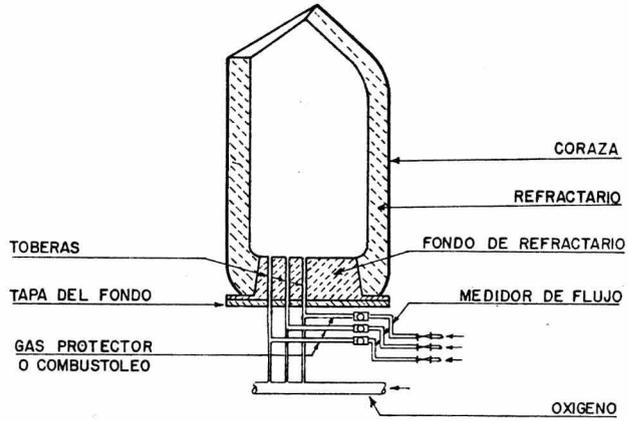


FIGURA 3.1.1-1

En la actualidad hay 9 convertidores en operación, uno de 30 ton, cinco de 35 ton, dos de 45 ton y uno de 64 ton con una capacidad anual instalada de 1 990 000 ton. Para 1975 están en proyecto 8 convertidores más uno de 35 ton., tres de 45 ton, tres de 64 ton y uno de 70 ton con una capacidad anual de 2 550 000 ton, lo que da un total de - - - - 4 540 000 ton, para 1975.

3.1.2.- Descripción del proceso y sus Características Técnicas :

En este proceso se emplea un convertidor con un sistema de insuflado por el fondo por medio de toberas con instalación individual de oxígeno y combustóleo, el uso de este hidrocarburo líquido es sumamente seguro ya que los circuitos del oxígeno y del combustóleo se encuentran separados entre sí y no existe riesgo alguno de reacciones violentas. Todo escape de combustóleo que pueda presentarse, es fácilmente visible y carece de gravedad.

El combustóleo al ser inyectado por el tubo externo de las toberas, las protege de un calentamiento excesivo debido a la gran cantidad de calor que se produce por la reacción exotérmica de oxidación de las impurezas del metal líquido.

El combustóleo se quema en el momento de salir por la punta de la tobera; se podría pensar que al quemarse se produciría un calentamiento y no un efecto refrigerante; pero sucede lo

contrario, por lo que la energía que necesita para quemarse la toma del metal que está en contacto con la punta de la tobera- protegiéndola por el efecto endotérmico resultante.

El consumo de combustóleo es de 2 - 3 Kg/ton ó 1.5 l/ton, de acero producido y es inyectado a una presión de 10 ATM. Es importante considerar el contenido de azúfre en el combustóleo.- Cuando este tiene un contenido de 0.4% S nos causa un incremento de 0.0004% S en el acero, con 2.5% S dá 0.0025% S y con contenidos de 3.0% S causa un aumento de hasta 0.005% S en el acero. (Ref. B 10)

La cantidad escoria en el proceso es de menos de 200 Kg/Ton, - al haber insuflación de oxígeno por el fondo, cambia la constitución de la escoria. Esto se debe a que su grado de oxidación es menor, consecuentemente las pérdidas de metal son menores, - 14 - 16% FeO.

Una de las ventajas del soplado por el fondo es la disminución de humos, lo cual disminuye grandemente las pérdidas de metal- por vaporizaciones que son de 8 Kg/ton.

El acero contiene : 0.0020 - 0.0040% H₂, 0.0025 - 0.0035% N₂ . Cuando el arrabio tiene 0.030% S y 1.6 - 2.0% P se obtienen - contenidos de 0.015% S y 0.025% P en el acero. (Ref. B 9)

El consumo de oxígeno es de 46.5 - 66 m³/ ton con un gasto de- 250 - 300 m³/ min con una presión de 10 - 12 ATM. Cuando se --

insufla cal junto con el oxígeno se tiene un gasto promedio de $893 \text{ m}^3/\text{min}$ a una presión de 20 ATM. El tiempo de soplos es de 8 - 12 min y la duración del proceso es de 30 - 40 min. En este proceso se agrega piedra caliza por la boca del convertidor, 24 Kg/ton y además se insuflan 56 Kg/ton en forma de polvo con una granulometría donde el 90% de las partículas de cal tengan menos de 0.1 mm.

Para evitar que el acero penetre a las toberas, se utiliza nitrógeno durante la suspensión del soplo de oxígeno con un gasto de $165 \text{ m}^3/\text{min}$ a una presión de 2 - 12 ATM durante 30 - 60 segundos con un consumo de 15.0 m^3 de nitrógeno por tonelada de acero.

Un factor importante en este proceso es el consumo de refractario que es de 5.0 Kg/ton de acero y con un desgaste de 1 mm/colada. El fondo del convertidor está hecho de magnesita y -- tiene una duración de 350 - 450 coladas y se requieren 12 hrs. para su reparación. Las paredes tienen una duración de 750 - - 850 coladas y se requieren 84 - 98 hrs. para reparar el convertidor con refractario de dolomita.

La carga del convertidor por cada tonelada de acero producido es aproximadamente de 894 Kg de arrabio, 160 kg. de chatarra, - de 50 - 90 kg de mineral, 50 -100 kg de pellet y 20 kg. de adiciones.

La eficiencia metálica del convertidor es de 90 - 96%, y se debe a que hay menos pérdidas de metal en forma de humos y en la escoria.

El sistema neumático es complicado debido a que el convertidor tiene un control individual en cada tobera y se requiere mucha instrumentación para el control de las variables del proceso BOF.

Las instalaciones para la carga y descarga del convertidor solo dependen de las dimensiones del convertidor y de su capacidad de producción.

En este tipo de convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor, por lo cual se requiere equipo especial para desmontar el fondo y también la reparación interna del convertidor.

En la figura 2.1.2-2 de la página 25 , se presenta una comparación entre el insuflado de oxígeno por arriba (BOF) y la inyección de oxígeno por el fondo (LWS, OBM y Q-BOP).

3.2.- Proceso OBM: (Oxygen Bodenblasen Maxhüette) :

3.2.1.- Antecedentes :

El nombre de este proceso fué sugerido por Maximillianshüette Iron & Steel Company of West Germany, el proceso OBM (Oxygen-Bodenblasen Maxhüette o Oxygen Bottom-Blow Maxhüette Process) surgió en 1965, cuando Guy Savard y Robert Lee de L'Aire Liquide, Canadá experimentaron en un convertidor de 250 libras el uso de un gas protector en una tobera de oxígeno. También se experimentó en los hornos de hogar abierto de la Dominion Steel, Hamilton, Canadá y la Coal Company, Sydney, Nova Scotta, ver figura superior de la página 10 , llamandole " Proceso SIP ".

A mediados de 1967 el Dr. Ing. Carl Brotzmann de Maxhüette en conjunción con L'Aire Liquide (con Savard y Lee) trabajaron en el desarrollo de una nueva tecnología de insuflado de oxígeno por el fondo, semejante al proceso Thomas. En 1968 se produjo acero a escala industrial en Sulzbach Rosenberg, Alemania, -- usando oxígeno puro empleando el convertidor OBM o Q-BOP. (Ref. B14, B17)

En este mismo año , se publicaron los primeros resultados del proceso y en 1969 se construyó el primer convertidor OBM fuera de Maxhüette en Roechling Iron & Steel Works. De 1969 a 1971 se transformaron varios convertidores Thomas para producir 5 -

millones de toneladas anuales, y el 15 de diciembre de 1971 E. Gott anunció en una conferencia de prensa que la U. S. Steel - Corporation decidió instalar sus convertidores Q-BOP de 200 -- ton.

La capacidad anual instalada en 1974 alcanzó 17.36 millones de toneladas, con 45 convertidores instalados con capacidades que varían de 5 a 250 ton. Para 1980 están en proyecto 8 convertidores con capacidades de 150 a 250 ton, con una capacidad - - anual de 12.9 millones de toneladas.

3.2.2.- Descripción del Proceso y sus características Técnicas:

El convertidor OBM es de forma semejante al empleado en el proceso BOF, con la diferencia de tener un fondo totalmente reemplazable equipado con un sistema de 5 a 15 toberas, dependiendo -- del tamaño del convertidor, ver figura de la página 42 , a través de las cuales se insufla oxígeno. Cada tobera está formada por 2 tubos concéntricos. Por el central fluye oxígeno y cal finalmente pulverizada. Por el conducto exterior se inyecta un medio enfriante protector; se ha usado gas propano con excelentes resultados para prevenir que no se queme la punta de la tobera, ver figura de la página 43 , es interesante el efecto que tiene el uso de un hidrocarburo como el propano en el momento de - salida de la tobera. Cualquier hidrocarburo requiere cierta - - energía para quemarse, por lo que el propano la tomará del área

ADAPTACION DEL FONDO DE UN CONVERTIDOR O B M A UN CONVERTIDOR B O F

CONVERTIDOR B O F

CONVERTIDOR O B M

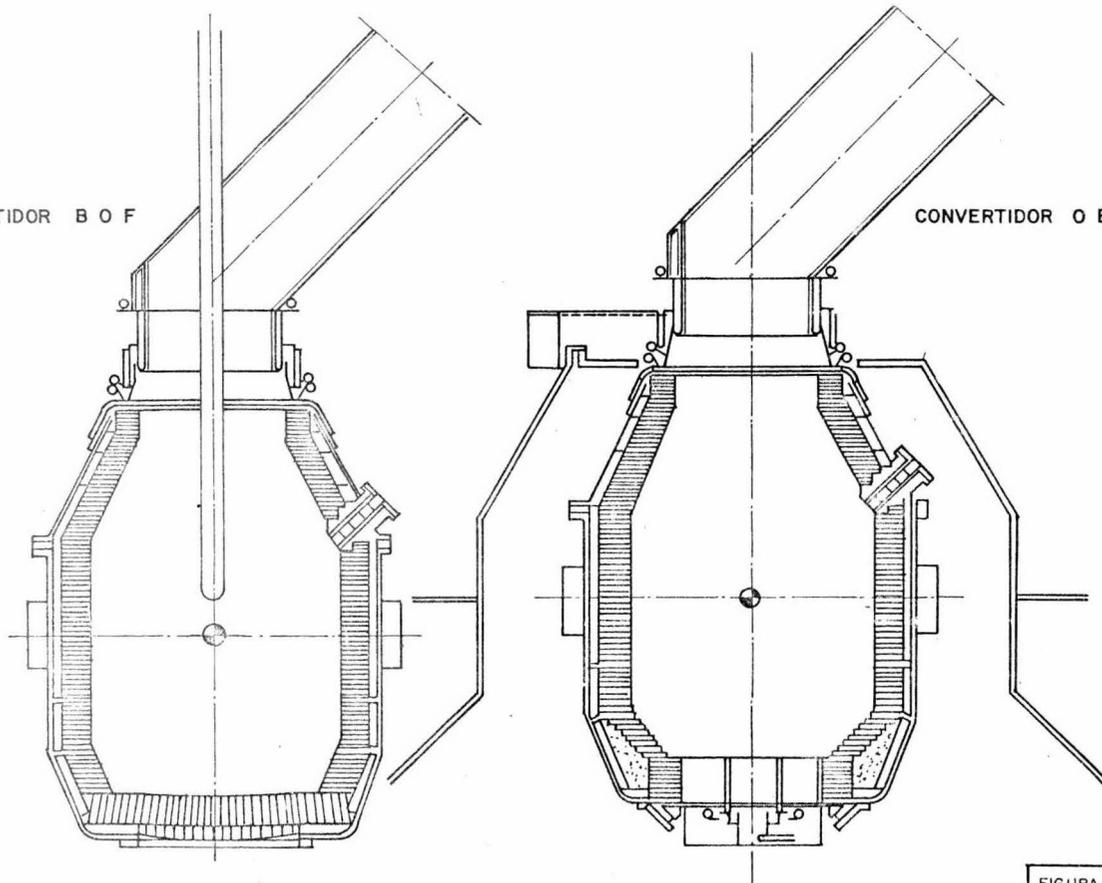
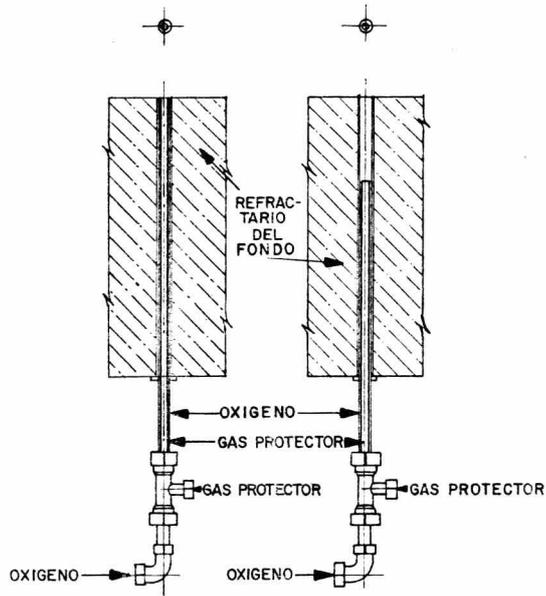


FIGURA 3.2.2-1

REF. B14



DISTRIBUCION DE TOBERAS

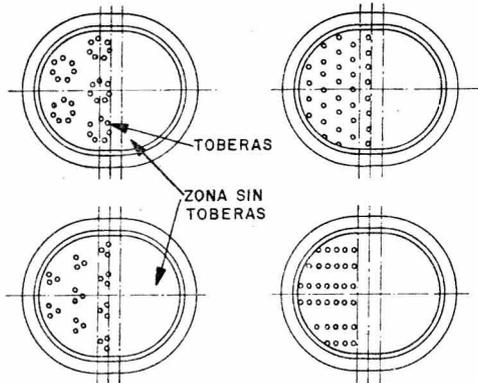


FIGURA 3.2.2-2

circundante a la punta de la tobera, quedando protegida por el efecto enfriante.

Las toberas están colocadas de tal modo que se obtenga una mayor eficiencia en el soplado y una agitación vigorosa del metal líquido, figura 3.2.2-2, de la página 43 .

Cuando el oxígeno es insuflado sobre la superficie del metal o por el fondo del convertidor, se presentan diferencias en la metalurgia del proceso, ver figuras de las páginas 25 , 69 y 70 . En el caso de insuflado sobre la superficie del metal líquido, hay formación de una escoria líquida fluída muy reactiva. En el proceso de insuflado por el fondo, el oxígeno reacciona primero con el metal líquido y el contenido de oxido de hierro de la escoria va aumentando a expensas del contenido de oxígeno del baño de metal.

En la figura de la página 45 , está representado el contenido de FeO en función de la refinación.

Con el soplado sobre la superficie del metal, gran parte del volumen del convertidor lo ocupa la escoria de consistencia espumosa, mientras que en el convertidor con soplado por el fondo se observa que durante el 90% de la refinación se produce una escoria seca y pastosa, su basicidad es de 3-3.5 y se obtienen de 120 - 140 Kg/ton de acero producido. Debido a su consistencia es fácil de controlar y eliminar.

Un aspecto importante es la posibilidad de substituir la chatarra empleada como enfriante por mineral de hierro en casi un --

CONTENIDO DE FeO EN LA ESCORIA DURANTE EL
INSUFLADO DE OXIGENO PARA LA REFINACION DEL ACERO

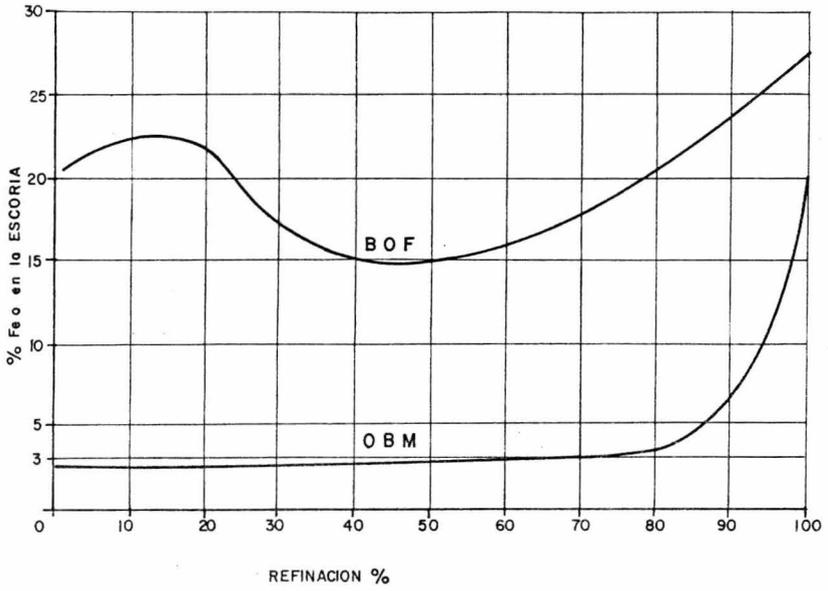


FIGURA 3.2.2-3

100%.

Este proceso permite el uso de mineral de hierro, debido a la ausencia de una escoria espumosa y a la vigorosa agitación, - el mineral reacciona completamente con el metal líquido; lo - que significa que no hay ningún aumento en el contenido de - FeO en la escoria (entre 13-17% FeO).

Existe un control adecuado en el soplo aún con 2% Si ó 2% Mn en el arrabio. Un factor de grán importancia en el proceso - OBM, es la desfosforización obtenible. Cuando se usa arrabio con 1.82%P, se obtiene 0.015% en el acero después de un tratamiento de solo 1 min. con arrabio bajo en fósforo (0.4-07%) - es posible lograr 0.010%P, en el acero.

Con la experiencia obtenida en Gary Works ha sido posible procesar esta información y lograr una reproducibilidad de la - operación obteniendo así un mejor control del proceso. Las variables en este caso resultan ser el cambio del contenido de FeO en la escoria, las diferencias tan grandes en la reoxidación del CO y la cantidad de chatarra no fundida durante el - proceso. (Ref. B14).

Esta reproducibilidad se ha desarrollado a tal punto que actualmente solo un 10% de las coladas han sido corregidas después de su refinación.

En la actualidad es importante considerar la coordinación de -

una máquina de colada continua con la producción de acero en convertidores al oxígeno. Por lo que es interesante mencionar que de 1968 a 1974, la compañía Concast ha construido 66 plantas para colada continua de Billets. En 61 plantas se produce el acero en hornos eléctricos y en 5 plantas se usan convertidores, de las cuales 3 usan el proceso OBM. (Ref. B14, B33).

Se hizo un estudio estadístico que se puede apreciar en la figura 48, donde el contenido promedio de nitrógeno en el acero obtenible con la insuflación por la boca del convertidor es de 25 p.p.m. en cambio en el insuflado por el fondo se logra un promedio de 18 p.p.m.

El bajo contenido de FeO en la escoria causa una baja oxidación del manganeso, por lo que se logra obtener aceros con contenidos altos en manganeso.

En la figura de la página 49, se puede observar que bajo condiciones semejantes el contenido final de manganeso en el acero es casi el doble cuando se insufla el oxígeno por el fondo. Esto indica que hay un menor consumo de Fe-Mn.

Con la combinación de un purgado de gas inerte durante 1 minuto se logra decarburizar al acero de 0.03%C a 0.01%C así como cuando se emplea degasado al vacío, el contenido de oxígeno también disminuye al igual que el hidrógeno obteniéndose valo-

CONTENIDO DE NITROGENO OBTENIDO EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS DE ACERO
PRODUCIDO EN CONVERTIDORES BOF Y OBM

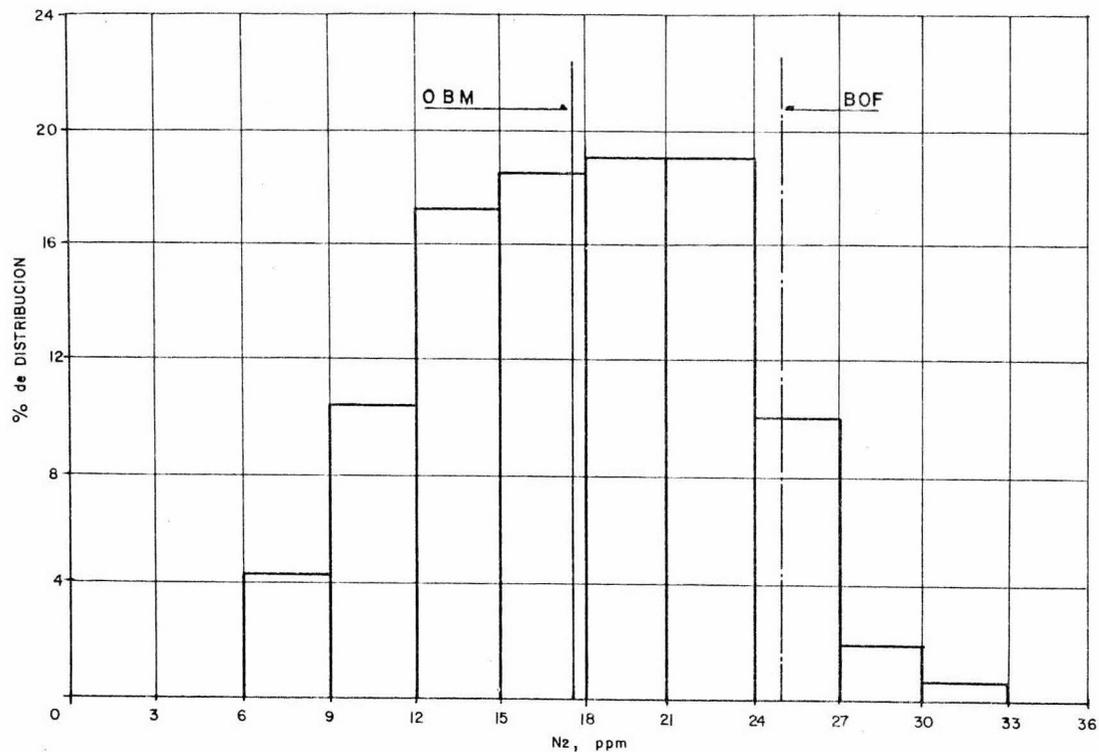


FIGURA 3 2 2 - 4

REF. B14 FIG. 5

CONTENIDO DE MANGANESO EN DIFERENTES TIPOS DE ACEROS OBTENIDOS
EN CONVERTIDORES BOF Y OBM

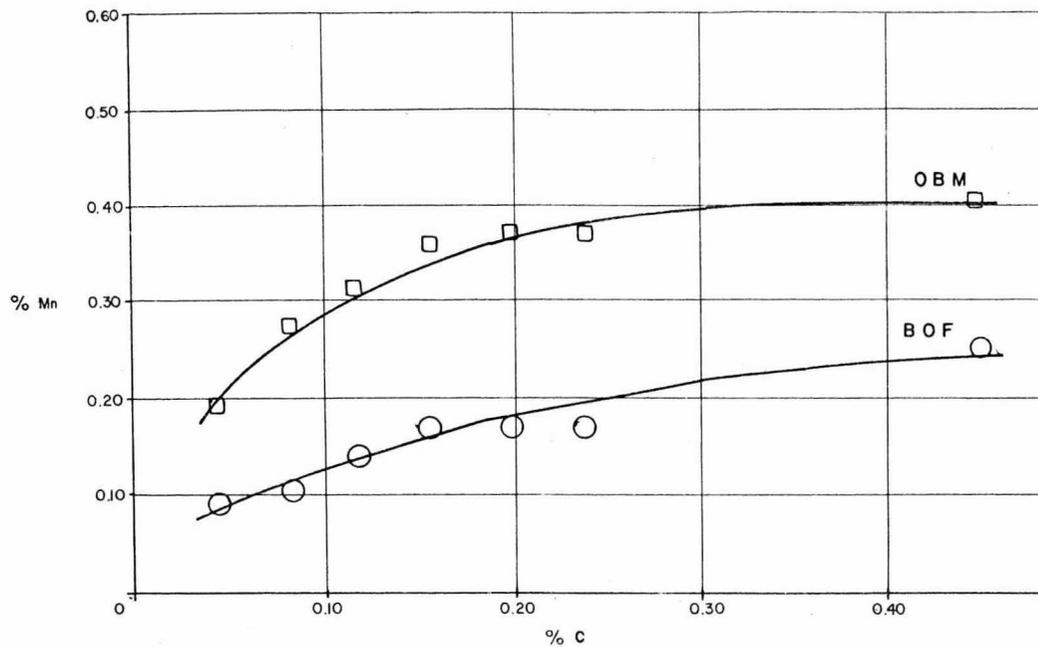


FIGURA 3.2.2-5

res de 1.5 p.p.m.

Durante es soplo se emplea oxígeno de alta pureza (98%-99% O_2), con un gasto de $65m^3$ /ton. a una presión de 4 - 12 ATM. En este proceso se insufla cal en polvo junto con el oxígeno. Las prácticas de soplado son:

Cuando se insufla oxígeno sin cal se usan gastos de $80-90m^3$ /min de oxígeno a una presión de 4 - 5 ATM; cuando se sopla cal junto con oxígeno se usan gastos de 200-300 kg/min de cal a una presión de 10 - 12 ATM, y cuando es necesario resoplar para hacer ajustes se emplean gastos de 600 kg/min de cal.

La adición de cal se hace en forma neumática junto con el oxígeno, por lo que se recomienda el uso de cal en polvo con una granulometría donde el 90% de las partículas tengan menos de 0.1mm.

Los tiempos de soplo son de 10 - 14 min y un promedio normal es de 12 min. El tiempo total del proceso es de 35-40 min.

En este proceso se utiliza gas propano a alta presión (6 ATM), por los tubos exteriores de cada tobera, los cuales quedan protegidos al quemarse este gas a la salida de la punta de la tobera por el efecto endotérmico. Se puede considerar que el consumo de propano es de un 3-5%, con un gasto de 2.67 kg/min., - - $5.lm^3$ /ton.

Cuando se suspende el soplo es necesario emplear un gas purgante como el nitrógeno con el propósito de proteger las toberas -

de un posible taponamiento por la entrada del metal líquido - a ellas. Se considera que su consumo es de 8.2 - 10.0% del consumo de oxígeno, a $58.3 \text{ m}^3/\text{min}$ con una presión de 2-12 ATM durante 30-60 seg. y su consumo es de $5.3 \text{ m}^3/\text{ton}$.

Uno de los factores a considerar es el consumo de refractario que es de $4.5 \text{ kg}/\text{ton}$ de acero producido, un desgaste promedio de 2-2.5 mm/colada. El fondo es totalmente intercambiable, se fabrica usualmente con ladrillo de magnesita y su duración es de 300-450 coladas en cambio las paredes tienen una vida de 600-900 coladas. La reparación total de un convertidor dura 72 horas y el cambio del fondo de 16-24 horas.

Una carga típica es 888 kg de arrabio (72.19%) 222 kg de chatarra (18.04%), 50-100 kg de pellet (4-10%), 20 kg. de mineral en piedra y 80 kg de mineral en polvo. Como es puede apreciar, el consumo de chatarra es ligeramente mayor, debido al poder calorífico adicional del propano. Además existe la posibilidad de insuflar mineral en polvo junto con la cal.

La eficiencia metálica depende en gran parte de la alta reducción en las pérdidas de metal en forma de humos y en forma de FeO en la escoria. Este proceso tiene una eficiencia de 90-95%.

El sistema neumático para el insuflado de cal y oxígeno es complicado debido a que varios fluidos deben de pasar por un mismo circuito y el control de su operación requiere de instrumen

tación compleja.

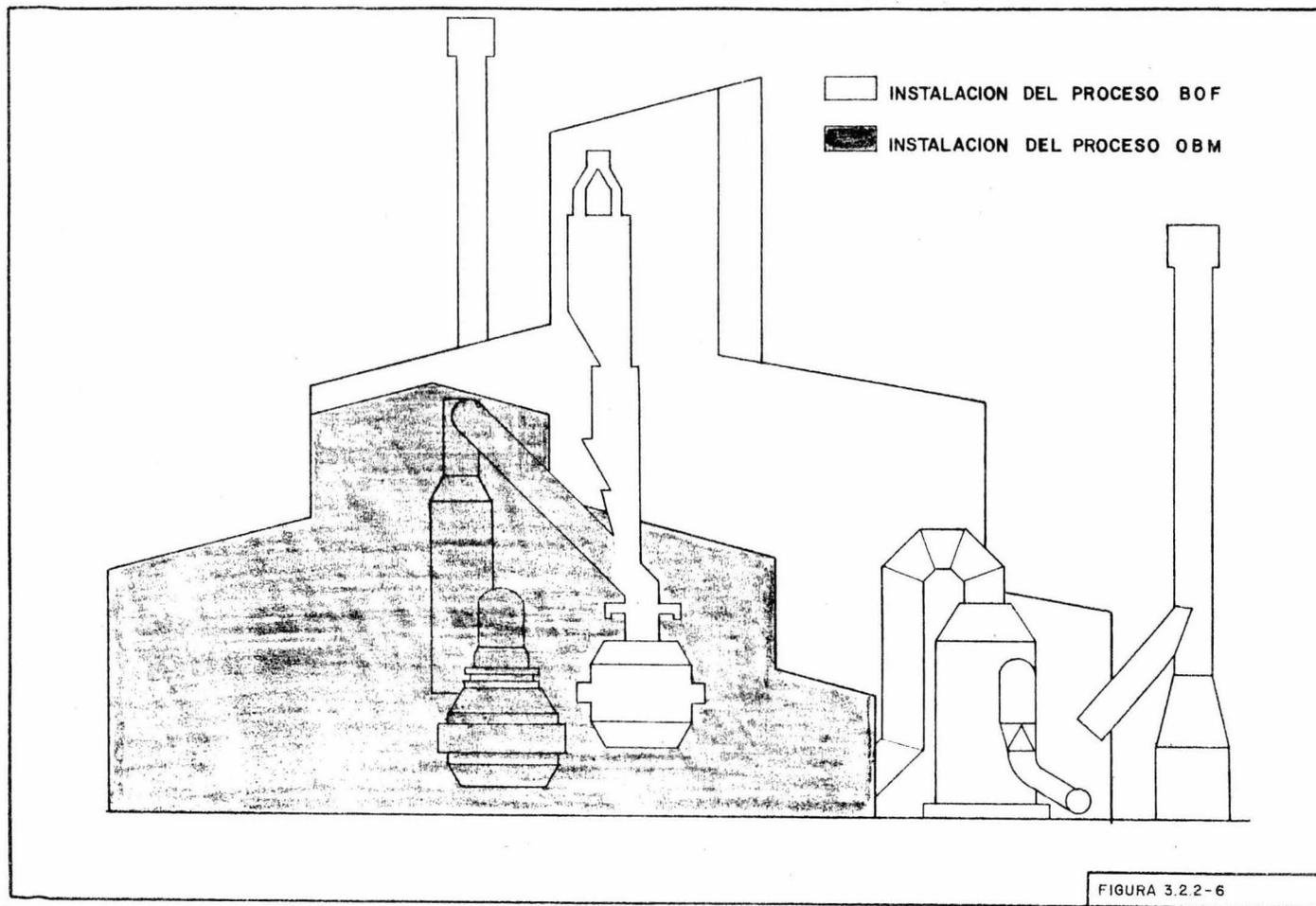
Las pérdidas de producción se deben principalmente a las reparaciones del fondo, que debe ser cambiado dos veces cada campaña de convertidores o al surgir cualquier problema con alguna tobera, esta se tapona en 30 min y se puede trabajar con un mínimo de 3 toberas.

La cimentación es menor, la carga de adiciones en el convertidor se hace en forma mecánica y las instalaciones son mínimas. Dependiendo del tamaño del convertidor serán las instalaciones necesarias para la carga de arrabio y de chatarra.

El convertidor requiere de la ayuda de una computadora para el mayor control y rapidez del proceso. Es fácil la adaptación de un sistema depurador y recuperador de gases, tomando en cuenta que la cantidad de polvos y gases es menor; las instalaciones serán de menor capacidad.

En el convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor, por lo que es necesario un equipo especial para su mantenimiento y reparación.

Una de las ventajas del proceso de insuflado por el fondo, es la de requerir edificios menos altos, en comparación con la instalación de un BOF. En la figura de la página 53, se puede observar que la altura del edificio requerido para un convertidor BOF, es de 60 metros, siendo mayor que la de un edi-

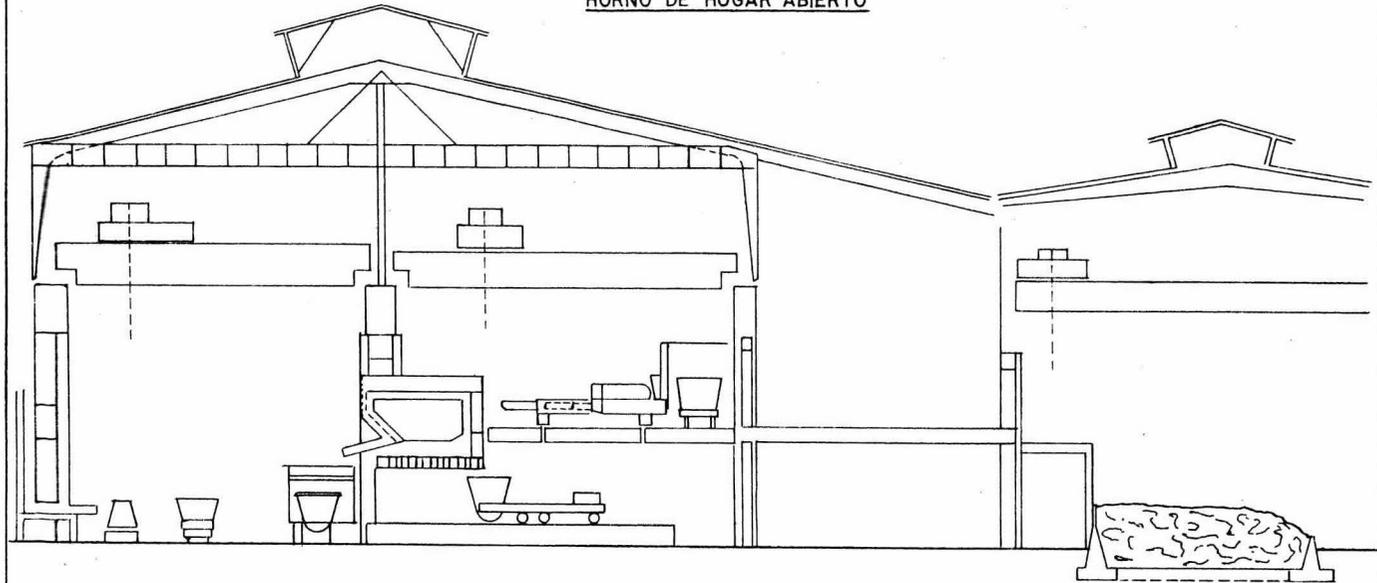


ficio para una acería con instalación de convertidores OBM - (Q-BOP o LWS) con insuflado de oxígeno por el fondo, ya que esta altura es de 30-45 metros (Dependiendo del diseño de - cada fabricante).

Esta disminución en la altura del edificio, es consecuencia de la eliminación, de las instalaciones de la lanza para el soplado de oxígeno por la boca del convertidor.

En la figura de la página 55, se puede observar la instalación requerida por el proceso Siemens-Martin con un Horno - de Hogar Abierto y comparando esta con la figura de la página 56, se puede observar, que utilizando el mismo edificio- fué posible la adaptación de on Convertidor OBM, con insu- flado de oxígeno por el fondo.

HORNO DE HOGAR ABIERTO



NAVE DE COLADA

NAVE DE CARGA

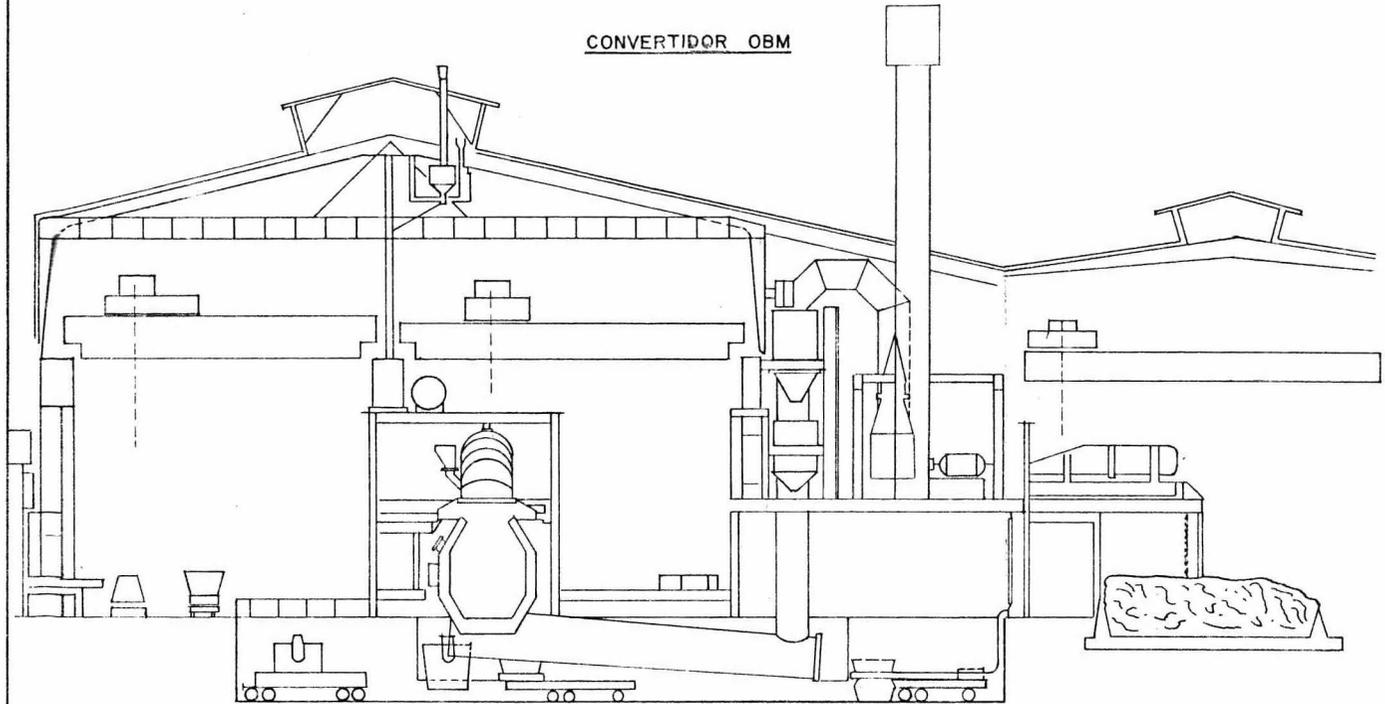
NAVE DE CHATARRA

FIGURA 3.2.2-7

REF. B9 FIG.8

ADAPTACION DE UN CONVERTIDOR O B M ,UTILIZANDO LAS MISMAS INSTALACIONES DE UN HORNO DE HOGAR ABIERTO

CONVERTIDOR OBM



NAVE DE COLADA

NAVE DE CARGA

NAVE DE CHATARRA

FIGURA 3.2.2-8

REF. B9 FIG.9

3.3.- Proceso Q-BOP:

3.3.1.- Antecedentes:

Este proceso surgió en 1967 al trabajar el Dr. Karl Brotzmann de Maxshütte y Guy Savard-Robert Lee de L'Aire Liquide de Canadá al usar una tobera con un conducto central por el que se inyecta oxígeno con cal y un conducto exterior concéntrico -- por el que fluye gas propano como protector aprovechado el -- efecto endotérmico que se obtiene en la boca de la tobera. -
(Ref. B16)

La primera colada experimental fué hecha en diciembre de 1967 y en marzo de 1968, se transformó la acería de Sulzbach-Rosenberg.

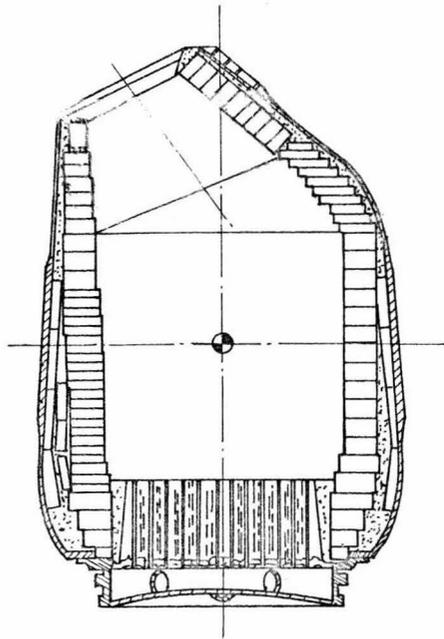
En 1971 la U.S. Steel Corporation se interesó por el proceso - y decidió hacer la transformación de sus instalaciones de 5 millones de toneladas anuales empleando arrabio bajo en fósforo y en Gary Works.

Las instalaciones de la U. S. Steel de Fairfield Works en Birmingham, Alabama, tenían 12 hornos de hogar abierto de 230 ton, tres de los cuales fueron substituidos por 2 convertidores - - Q-BOP de 200 ton, instalados en lugar de los hornos 5, 6 y 7. Los 9 restantes siguen en operación.

Existe la posibilidad de transformar un convertidor Thomas en un convertidor Q-BOP. Ver figura de la página 58.

ADAPTACION DEL FONDO DE UN CONVERTIDOR Q-BOP A UN CONVERTIDOR THOMAS

CONVERTIDOR THOMAS



CONVERTIDOR Q-BOP

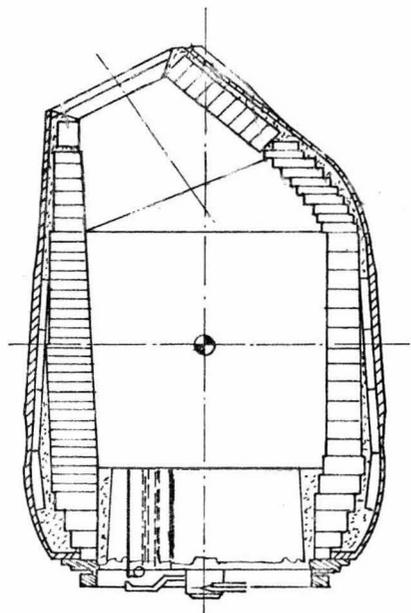


FIGURA 3.3.1-1

REF. B14

El diseño de las toberas y su distribución en el fondo del convertidor se determinó en forma experimental, ver figura de la página 43. El uso de cal en polvo inyectada por el fondo dió como resultado una operación más silenciosa y a esto se debe la denominación:

Q-BOP (Quiet or Quick Basic Oxygen Process).

3.3.2.- Descripción y Características Técnicas de Operación:

Con el insuflado por el fondo se observó que había un aumento en la capacidad de fundición de chatarra y que pedaceria de 710 x 965 x 890 mm con un peso de 4,850 kg, se fundía completamente después de 10 minutos de soplo. (Ref. B16)

Aspectos Metalúrgicos:

Datos obtenidos en un convertidor experimental de 30 toneladas: (Ref. B16).

El fósforo puede ser eliminado hasta niveles bajos en aceros con 0.05%C.

Controlando la temperatura y la inyección de cal se puede obtener concentraciones de 0.005%P en el acero usado arrabio con 0.203%P.

La posibilidad de insuflar cal en polvo al acero líquido aumenta la desulfurización. En la figura de la página 60, se -

DESULFURIZACION OBTENIBLE EN EL PROCESO
Q-BOP CON INSUFLADO DE OXIGENO POR EL FONDO

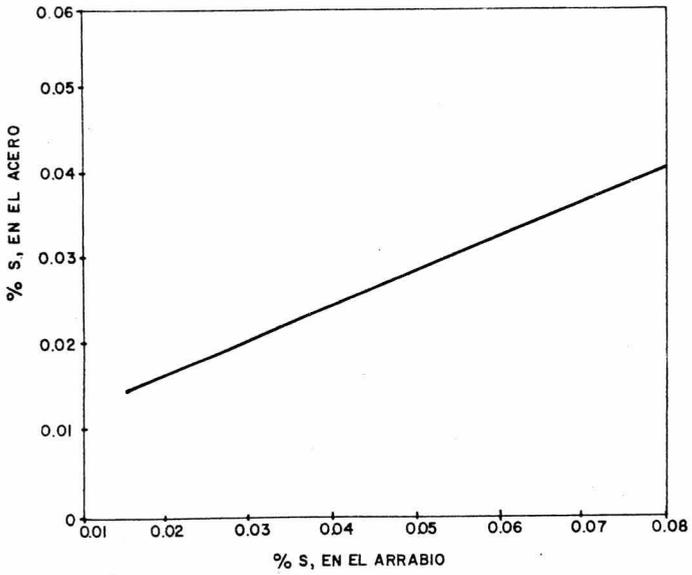


FIGURA 3.3.2-1

puede observar que tratando arrabio con 0.070%S, se logra -
desulfurar hasta 0.035%S en el acero.

Haciendo ciertas modificaciones en la prácticas de insuflado
de cal es posible lograr 0.07%S partiendo de un arrabio con -
0.200%S. Es importante mencionar que todo el arrabio es des-
corificado antes de ser vaciado al convertidor.

La escoria es de consistencia seca y poco flúida con un conte-
nido de 13 -17%FeO y una basicidad de 3 - 3.5. En la figura -
de la página 62, se puede observar la relación que existe en-
tre el contenido de FeO en la escoria y el porcentaje de car-
bón del acero.

El contenido de nitrógeno en el acero es de aproximadamente -
0.0010 - 0.0030%, ver figura de la página 63.

El contenido de hidrógeno en el acero es de aproximadamente de
0.00176 - 0.00325% (Fig.8 Ref.B16). Se ha logrado disminuir el
contenido de hidrógeno aún más, purgando el acero con nitrógeno
en el momento de inclinar el convertidor.

Datos de Operación de Gary Works:

Después de haber experimentado con un convertidor de 30 tonela-
das se construyó un convertidor de 200 ton. en Gary y estos son
algunos de los resultados obtenidos: (Ref. B16).

El contenido de nitrógeno en el acero es de aproximadamente --

CONTENIDO DE FeO EN LA ESCORIA EN DIFERENTES
TIPOS DE ACERO PRODUCIDO EN CONVERTIDORES Q-BOP

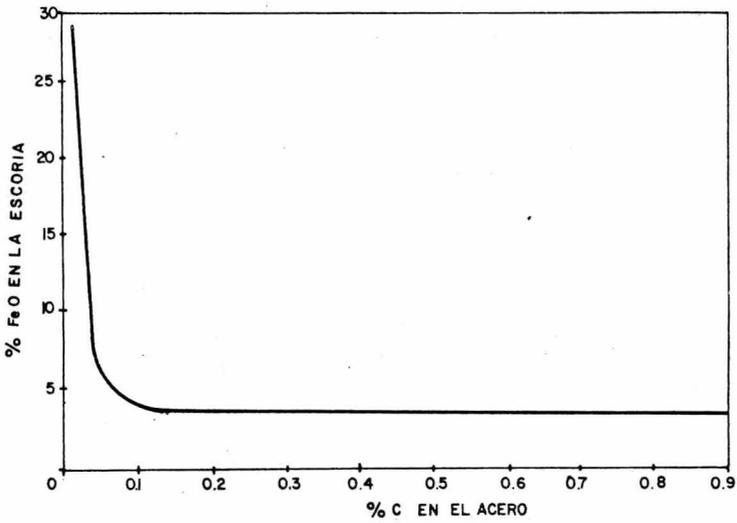


FIGURA 3.3.2-2

0.003-0.005%.

Se han observado mayores contenidos de Mn en el acero; que indica una recuperación de 0.10-0.15% de Manganeso, en comparación con los resultados del proceso BOF.

Además se ha observado un ahorro de 0.34Kg de Aluminio por tonelada de acero.

En la figura de la página 65, están representadas las pruebas hechas y el contenido de hidrógeno que es del orden de 0.00176 a 0.00325% de Hidrogeno.

El consumo promedio de Cal en polvo es de 70 a 77 Kg por tonelada de acero. En Gary Work No. 1 hay un consumo en los BOF's de 92 Kg/ton.

Los tiempos de colada a colada son de 31-41 minutos y es posible emplear pedacería de chatarra pesada de hasta 5 y 25 ton. La producción obtenida de Febrero 14, 1973 a Enero 23, 1975 ; fué de : 18,756 Coladas con 3,958,906 toneladas.

Durante la operación, se tomó un día representativo y las pruebas de desulfirización se graficaron en la figura de la página 66 ; en donde dos tercios de las coladas tuvieron un contenido de 0.020%S y el contenido máximo de azúfre en las 34 coladas hechas fué de 0.023%S. El contenido de azúfre en el arrabio usado éra de 0.057%S.

CONTENIDO DE HIDROGENO OBTENIDO EN LAS MUESTRAS
ANALIZADAS DE ACERO PRODUCIDO EN CONVERTIDORES Q-BOP

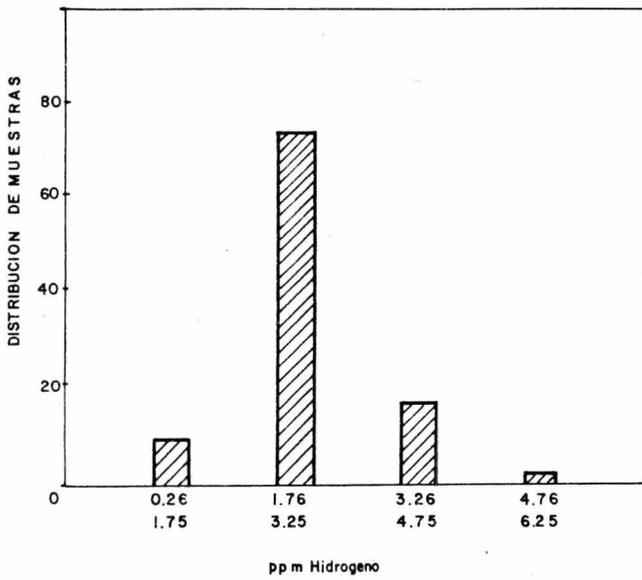


FIGURA 3.3.2-4

DESULFURIZACION OBTENIBLE EN EL PROCESO Q-BOP
CON INSUFLADO DE OXIGENO POR EL FONDO

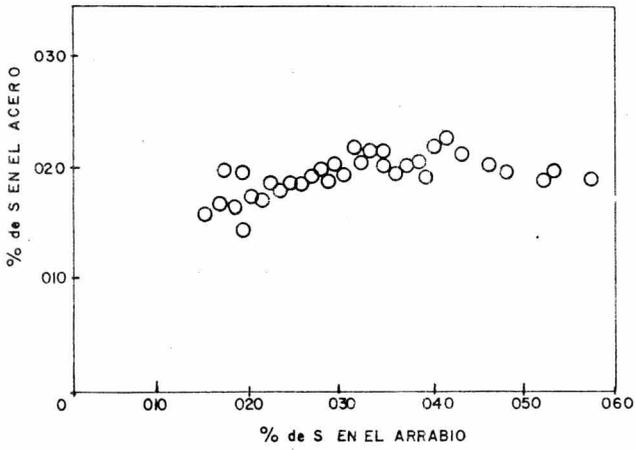


FIGURA 3.3 2-5

Los resultados de la desfosforización fueron excelentes, lográndose lo siguiente :

(Ref. B16, página 10)

Para coladas con :

0.10%C 90.0% de las coladas contenían 0.010%P.

0.11 - 0.30%C 47.0% de las coladas contenían 0.010%P.

53.0% de las coladas contenían 0.020%P.

0.31 - 0.50%C 96.5% de las coladas contenían 0.020%P.

3.5% de las coladas contenían 0.025%P.

0.50%C Solo cinco coladas.

CAPITULO IV

FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE REFINACION DEL ACERO CON OXIGENO EN CONVERTIDORES:

4.1.- Generalidades:

Cuando el oxígeno es soplado sobre la superficie o a través del baño de metal como en el proceso BOF o Q-BOP respectivamente, la mayoría de las reacciones químicas que ocurren durante la refinación son rápidas y la velocidad de refinación es función de los fenómenos de transferencia de masa; principalmente por difusión y convección.

Se han hecho un gran número de estudios sobre los fenómenos de transferencia de masa de los procesos de fusión y refinación de arrabio; sin embargo existe aún mucho que investigar para entender cuales son los mecanismos de reacción durante la refinación del arrabio con insuflado de oxígeno.

En primer lugar es necesario examinar los datos de operación típicos del proceso de oxidación de carbono, fósforo, silicio y manganeso. Se puede apreciar en las figuras de las páginas 69 y 70, que las curvas del carbono, silicio y fósforo tienen la misma forma. Sin embargo hay una gran diferencia en la curva de oxidación del manganeso.

En el Q-BOP con cal insuflada por el fondo es mínima la oxida-

OXIDACION DEL CARBONO, FOSFORO, SILICIO Y MANGANESO DURANTE EL SOPLADO (3 000 ft³/min de O₂) EN UN CONVERTIDOR BOF DE 40 TONELADAS.

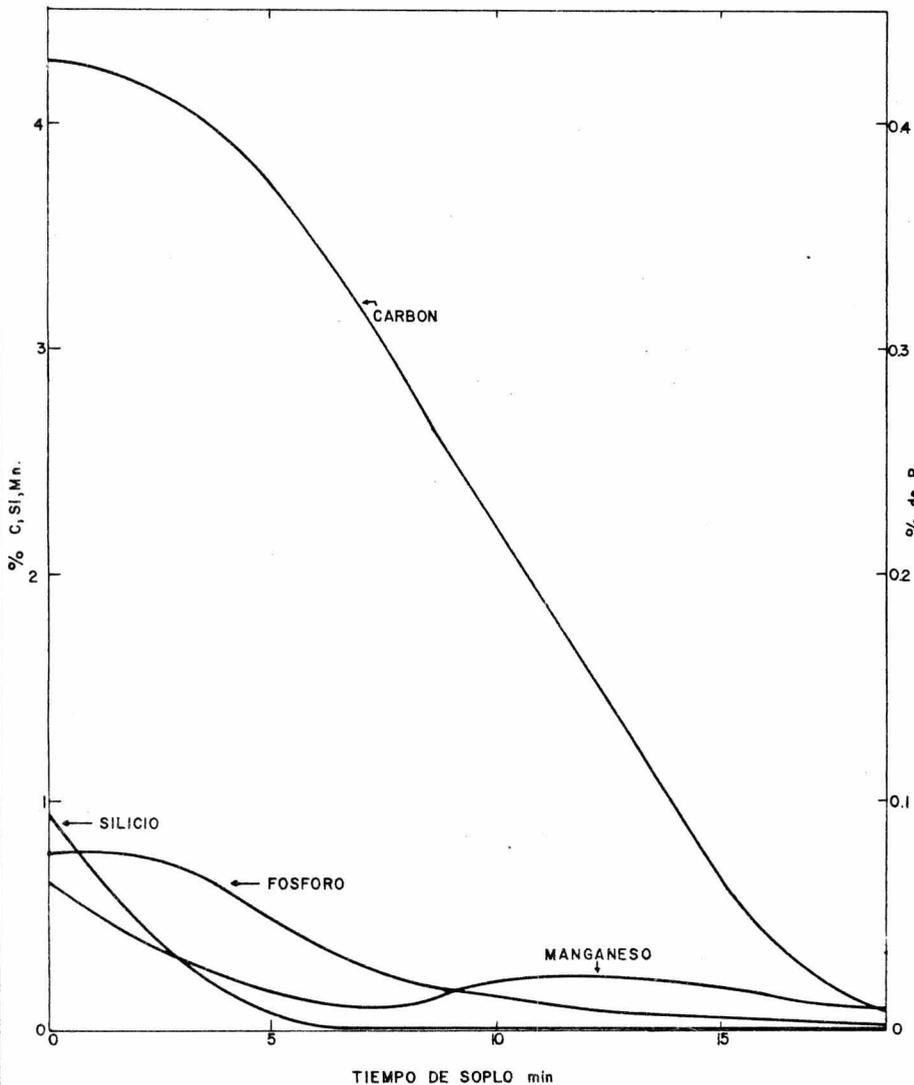


FIGURA 4.1.1

REF. B 31 FIG. I

OXIDACION DEL CARBONO, FOSFORO, SILICIO Y MANGANESO DURANTE EL SOPLADO (3 000 ft³/min. de O₂) DE UN CONVERTIDOR Q-BOP DE 25 TONELADAS.

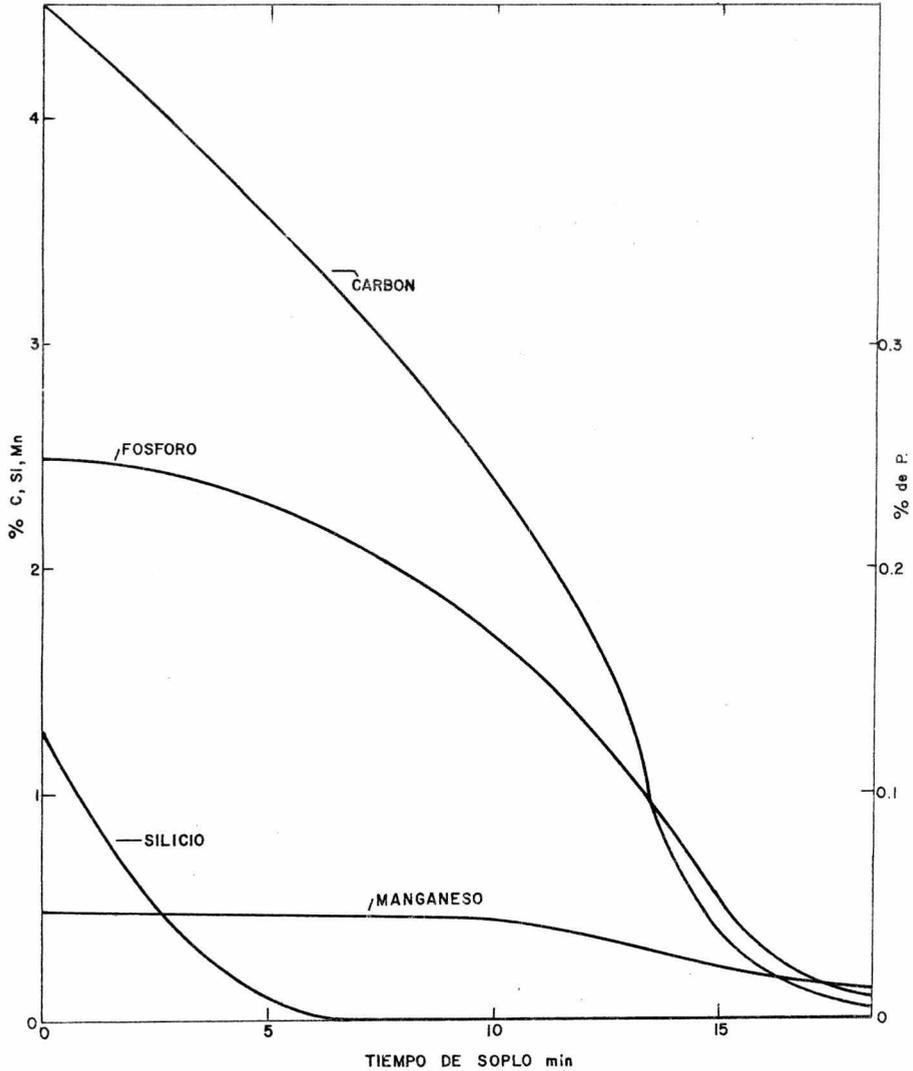


FIGURA 4.1-2

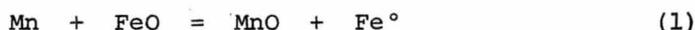
ción del manganeso hasta el momento en que la mayor parte - del silicio ha sido eliminado.

Para el caso del BOF, con insuflado de oxígeno sobre la super_ficie del metal; el manganeso y el silicio se oxidan juntos.

Cuando el silicio se ha agotado ocurre una reacción reversi- ble del manganeso, pasando este de la escoria al metal. La - importancia de esta reacción aumenta cuando se considera el - punto de equilibrio entre el metal y la escoria.

REACCION DEL MANGANESO :

La reacción del manganeso se puede representar así :



Se puede definir a la constante de equilibrio como K_{Mn} :

$$K_{\text{Mn}} = \frac{(\% \text{MnO})}{(\% \text{Mn})(\% \text{FeO})} \quad (2)$$

El valor de K_{Mn} disminuye al aumentar la basicidad de la esco_ ria, que se debe a la variación de los coeficientes de activi_ dad de los oxidos $Y_{\text{MnO}} / Y_{\text{FeO}}$, por la composición de la esco- ris. Los valores de K_{Mn} obtenidos de las muestras tomadas de las coladas de un convertidor BOF de 40 toneladas y los valo- res de su basicidad $\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2$ están graficados en la figu- ra de la página 72, donde la curva interrumpida se calculó de los datos obtenidos en el equilibrio Metal-Escoria.

CAMBIOS DE LA DISTRIBUCION DEL MANGANESO EN EL METAL-
ESCORIA DURANTE EL SOPLADO DE UN CONVERTIDOR Q-BOP
DE 40 TONELADAS

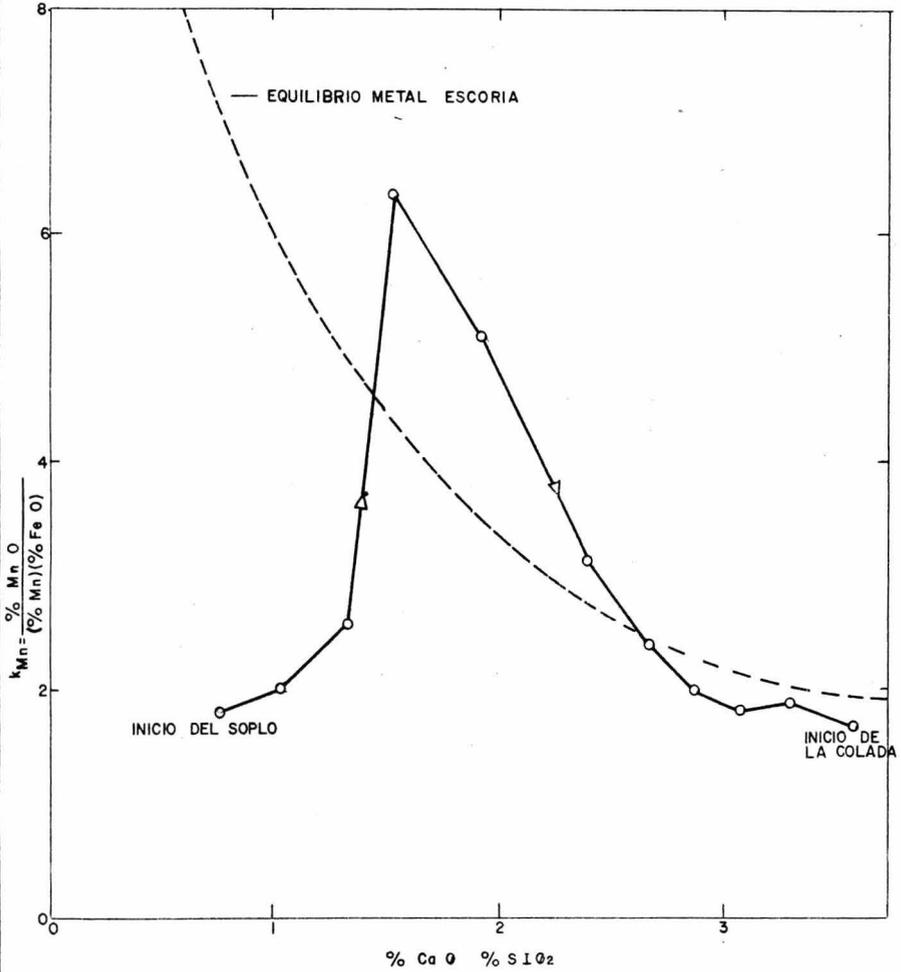


FIGURA 4.1-3

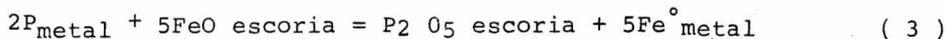
Es importante hacer notar que después de los primeros minutos de soplo, los valores de K_{Mn} están por arriba de la curva de equilibrio.

A medida que la basicidad de la escoria aumenta con la duración del soplado, el valor de K_{Mn} alcanza el equilibrio metal-escoria.

Los valores de K_{Mn} arriba de la curva de equilibrio nos indican que durante la eliminación del silicio al inicio del soplado, el manganeso es oxidado a niveles abajo del equilibrio metal-escoria. Este comportamiento no se observa cuando el oxígeno y la cal son inyectados por el fondo del convertidor, como es el caso del proceso LWS, OBM Y Q-BOP; en donde el manganeso permanece sin cambio alguno y por arriba de los valores de equilibrio durante la mitad del tiempo de refinación .

REACCION DEL FOSFORO :

En la desfosforización del acero, la oxidación y la transferencia del fósforo del metal a la escoria está representado por :



$$K_p = \frac{(\% P_2 O_5)}{(\% P)^2 (\% \sum Fe)^5} \quad (4)$$

Donde $\% \Sigma \text{Fe}$ es el total de óxidos de hierro en la escoria (excluyendo el hierro metálico). Después de varias investigaciones (ver Ref. B 31.2, B.31.3) sobre esta reacción se encontró que en un tipo tan complejo de escoria como la obtenida en la refinación del acero. El valor de K_p se incrementa, al disminuir la temperatura e incrementar el contenido de cal en la escoria.

El equilibrio metal-escoria del fósforo se puede representar por la siguiente expresión empírica .

$$\text{Log } K_p = 10.78 \text{ Log } (\% \text{CaO}) - 0.005t - 5.537 \quad (5)$$

Donde t es la temperatura en °F. sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (4) se puede calcular el contenido de fósforo en el acero durante el equilibrio con la escoria como se puede ver en la figura de la página 75 , para una temperatura de 2,700°F y otra de 2,900°F en función de la cal y del contenido total de hierro en la escoria con un 3% $\text{P}_2 \text{O}_5$.

Al incrementar la temperatura, la curva de equilibrio se desplaza a contenidos más bajos de fósforo en el metal y a bajos contenidos de óxido en la escoria.

Para escorias con diferentes contenidos de fósforo en el equilibrio, la concentración de fósforo en el acero, se puede calcular directamente de esta gráfica aplicando el siguiente fac

EFFECTO DEL Ca O Y DE LA SUMA TOTAL DE OXIDOS DE FIERRO CONTENIDOS EN LA ESCORIA EN EL EQUILIBRIO DE FOSFORO EN EL ACERO

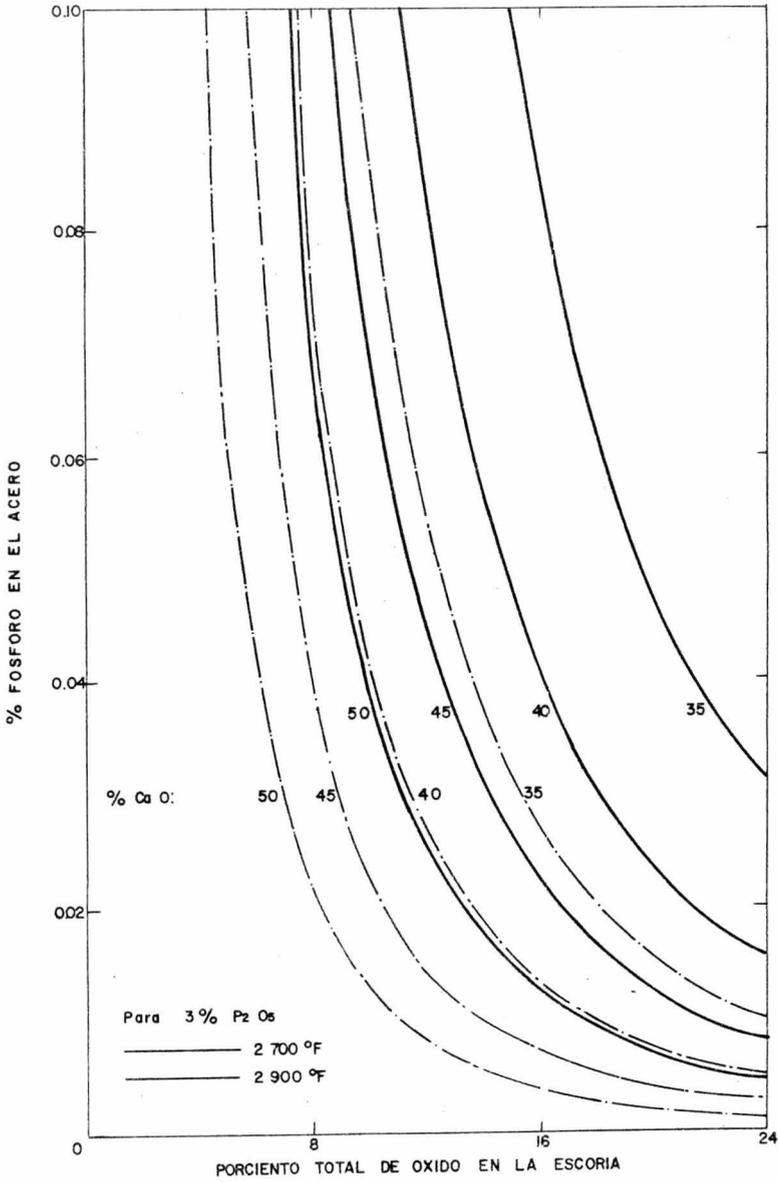


FIGURA 4.1.4

tor de ajuste para cualquier contenido de P_2O_5 .

$$(\%P) = (\%P \text{ para } 3\%P_2O_5) \sqrt{\frac{\%P_2O_5}{3}} \quad (6)$$

Estudios previos (ver Ref. B31.4, B31.5) en Hornos de Hogar - Abierto y en Convertidores BOF, se puede observar que el contenido de fósforo en el acero, en el momento de colar es cerca no al que se obtiene de la composición en el equilibrio metal-escoria.

Para determinar el contenido de fósforo en el acero en el proceso Q-BOP, se toman muestras de escoria y se puede apreciar - en la figura de la página 77, una gráfica en donde están los - resultados del cálculo del equilibrio metal-escoria y de los - contenidos reales en el acero de dos convertidores; uno experi mental de 25 toneladas y otro de 200 toneladas comercial.

Es importante hacer notar, que en la mayoría de los casos, el contenido de fósforo en el acero es menor que el valor obtenido en el equilibrio.

El contenido de oxidos de fierro en la escoria obtenida en un convertidor Q-BOP, es en proporción de un 0.33 a 0.50 de la es coria obtenida en el proceso BOF. A pesar de esta diferencia, los niveles alcanzables de fósforo en el convertidor Q-BOP son más bajos a los obtenidos en convertidores BOF, para escorias de casi la misma composición y para aceros del mismo tipo.

CONTENIDO DE FOSFORO EN ACEROS DE BAJO CARBONO EN EL MOMENTO DE VACIADO COMPARADO CON EL CALCULADO EN EL EQUILIBRIO METAL-ESCORIA PARA CONVERTIDOR Q-BOP.

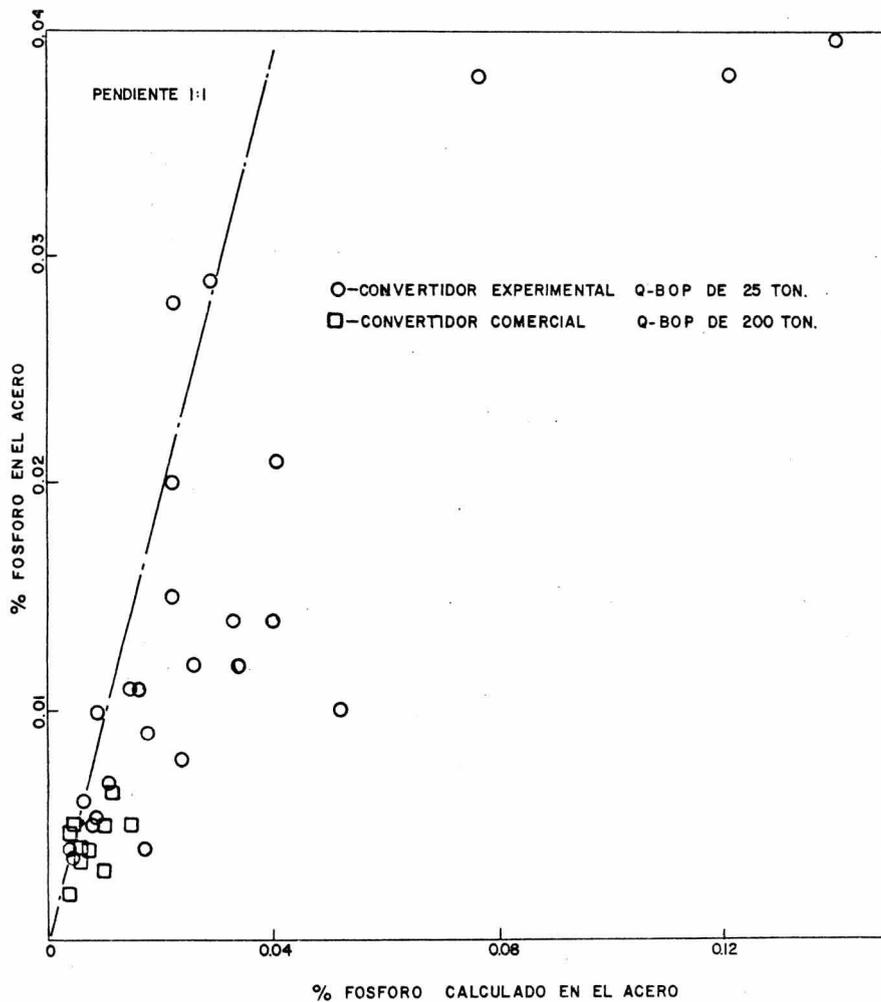


FIGURA 4.1-5

Estas observaciones nos dan una idea del porqué la composición de la escoria obtenida en el BOF, afecta la refinación del -- arrabio.

En el proceso Q-BOP con inyección de cal por el fondo, las -- reacciones ocurren preferentemente en la corriente de gas, de modo que la escoria formada tiene menor efecto sobre las reacciones.

Se piensa que la cal inyectada con oxígeno puede reaccionar -- con el hierro en la zona de la punta de la tobera formando una mezcla fundida de calcio y ferrita saturada con cal, que puede reaccionar rápidamente con el fósforo del baño de metal. Sin -- embargo, cuando las partículas de escoria ricas en óxidos de -- hierro alcanzan la superficie de la interfase metal-escoria, -- estas son reducidas por el carbón y en consecuencia se produci -- rá una reversión en la reacción, regresando parte del fósforo -- al metal con el resultado neto de una muy baja o casi nula des -- fosforización durante el período de decarburización, que es lo contrario de lo que sucede en el proceso Q-BOP, donde la des -- fosforización se lleva a cabo a la par de la decarburización.

Si se tuviera el caso de que durante la reacción de la ferrita saturada con cal y el baño de metal pudieran formar fosfato de calcio sólido, el cálculo del contenido de fósforo en el acero en el equilibrio sería de 0.015 a 0.02% P. Este contenido de --



fósforo residual es mucho mayor que el que se obtiene en los datos reales de operación.

Por lo tanto se puede concluir que la refinación del arrabio en convertidores Q-BOP sigue otro mecanismo de reacción.

Tal vez uno de los factores más importantes que influyen en el mecanismo de reacción es la producción de humos y polvos de óxidos de fierro.

En el proceso BOF se produce una gran cantidad de humos después de la decarburización, casi al final del soplado. En cambio en el proceso LWS, OBM y Q-BOP, con inyección de oxígeno por el fondo, se producen humos durante todo el tiempo de soplado, iniciándose después de haber eliminado el silicio.

Cuando el arrabio se calienta en una atmósfera oxidante, hay una rápida vaporización y producción de polvo de óxido de fierro (Ref. B 31.6, B 31.7). La velocidad de vaporización del fierro inicialmente se incrementa al aumentar la presión parcial del oxígeno, posteriormente se logra una pasivación por la formación de una capa de óxido de fierro fundida al usarse oxígeno puro, causando la suspensión total de la vaporización.

El efecto de un gas reactivo sobre la velocidad de vaporización de metal, puede ser considerado como un fenómeno de transporte o contracorriente. Por lo tanto la velocidad de vaporización de-

fierro, o cualquier otro metal que reaccione con el oxígeno, debe aumentar linealmente con el incremento de la presión -- parcial del oxígeno.

Si se incrementára aún más la presión parcial, el flujo de oxígeno hasta la superficie del metal será eventualmente mayor que la contracorriente del vapor de metal, trayendo como consecuencia la oxidación de la superficie del metal y el paro total de la vaporización.

Precisamente antes de este paro total, la velocidad de vaporización será cercana al máximo valor de la velocidad de vaporización libre, dada por la ecuación de Langmuir.

La validez de esta teoría fué verificada experimentalmente -- con varios metales líquidos y sólidos (Ref. B 31.6).

Como se puede apreciar en los resultados experimentales de la figura de la página 81 , la velocidad de vaporización del -- fierro se incrementa linealmente al aumentar la presión par-- cial hasta obtener un máximo donde la vaporización cesa casi-completamente.

REACCIONES DEL CARBONO, NITROGENO E HIDROGENO :

De la comparación de los datos de operación y de resultados - experimentales se ha obtenido lo siguiente ; (Ref. B 31.11).

VELOCIDAD DE VAPORIZACION DEL FIERRO A 1800 °C EN UNA MEZCLA ARGON-OXIGENO SOPLADA SOBRE LA SUPERFICIE DEL METAL A LAS VELOCIDADES INICIADAS.

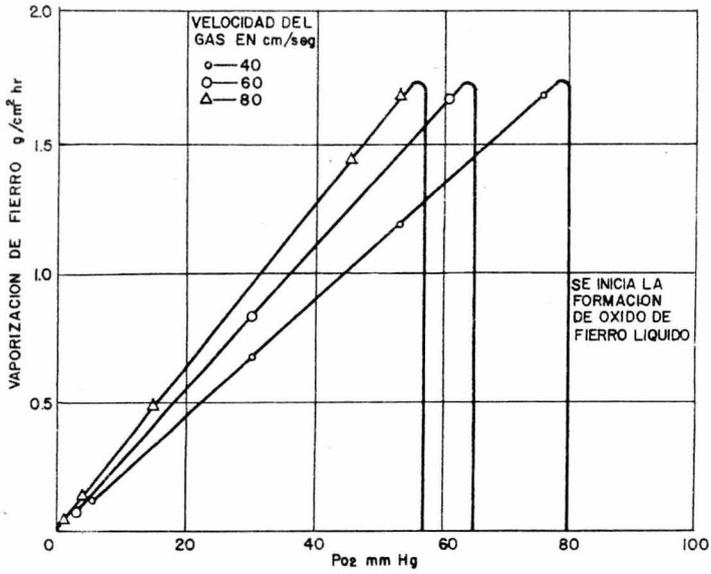


FIGURA 4.1-6

Durante el purgado con gas inerte se obtiene una ligera desnitrógenación y deshidrogenación.

En un convertidor Q-BOP de 200 toneladas se puede obtener la siguiente expresión para el cálculo del tiempo necesario requerido durante el purgado con argón para eliminar oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, con un gasto de 14,000 Pies³/ Min. de argón.

Para más de 0.3% C :

$$\text{Log } \frac{(\% \text{ N})_t}{(\% \text{ N})_o} = -0.27 t \quad (7)$$

Para menos de 0.2% C:

$$\text{Log } \frac{(\% \text{ N})_t}{(\% \text{ N})_o} = -1.16 (\% \text{ C}) \frac{t}{t} \quad (8)$$

Con cualquier contenido de carbón :

$$\frac{1}{(\text{PPm H})_o} - \frac{1}{(\text{PPm H})_t} = -0.22 t \quad (9)$$

Para más de 0.05% C:

$$\text{Log } \frac{(\% \text{ O})_t}{(\% \text{ O})_o} = -27 t \quad (10)$$

Donde o y t indican las concentraciones del soluto al principio y al final del purgado con argón en un tiempo t en minutos.

Durante el soplado de oxígeno al convertidor hay una rápida reacción con el carbono del baño para formar el CO y CO₂ .

A medida que las burbujas de gas ascienden, la velocidad de oxidación del carbono es controlada por la difusión del --CO₂ del chorro hacia la interfase metal-gas de la superfi--cie de la burbuja, en un baño con alto carbón. Este fenómeno de transporte es rápido y consecuentemente hay un alto -aprovechamiento de oxígeno para contenidos mayores a 0.3% C. Por lo que abajo de 0.2% C, la decarburización disminuye.

Esto quiere decir que durante el soplado de oxígeno en acero de menos de 0.2% C, no todo se consumirá durante la decarburización. Por lo que algo de hierro se oxidará al haber un exceso de oxígeno.

Por lo tanto al soplar una colada con bajo carbono, es recomendable sustituir al oxígeno por una mezcla de gas inerte -oxígeno para evitar la oxidación de hierro y tener pérdidas -de metal en forma de óxidos.

El control del mecanismo de reacción del nitrógeno y el hidrógeno en el proceso Q-BOP, depende :

Del valor del coeficiente de actividad del oxígeno en el baño, de su velocidad de flujo y de la concentración de nitrógeno e hidrógeno.

4.2.- POSIBLES MECANISMOS DE REACCION EN LA REFINACION :

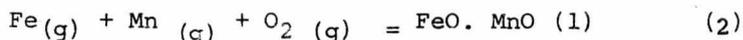
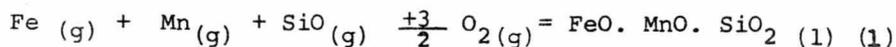
Se puede pensar que en los procesos con insuflado de oxígeno por la boca o por el fondo del convertidor hay tres etapas de reacción :

- 1.- La vaporización de elementos o de sus óxidos acelerada por la oxidación de los vapores en una atmósfera oxidante de la corriente de oxígeno.
- 2.- La reacción del metal o escoria con las partículas producidas durante la reacción en la fase gas-vapor.
- 3.- La reacción de la fase escoria-metal-gas, en la capa de emulsión de escoria.

Debido a la intensa agitación del baño, habrá una continua renovación de la superficie de metal expuesta al oxígeno, aún -- cuando hay una oxidación directa del metal.

Durante esta violenta agitación del baño, la difusividad obtenida es de una magnitud mucho mayor a la difusión atómica de cada elemento. Por lo tanto la transferencia de masa del metal en la interfase metal-oxígeno es muy grande, al menos a concentraciones arriba de 0.05%C.

Ahora hay que considerar las reacciones del magnesio y del silicio que ocurren durante la primera etapa del soplado - en la zona oxidante de las toberas :



Una reducción posterior del producto resultante de la reacción en fase gas-vapor con el carbón contenido en el baño - de metal, depende de su composición.

Por ejemplo el coeficiente de actividad del MnO del producto de la reacción del silicio es menor que el de la escoria de mayor basicidad. Por lo tanto, el manganeso residual en el - baño de metal deberá ser menor al correspondiente contenido - en el equilibrio del metal-escoria.

Después de la eliminación del silicio, se presenta una rápida reversión del manganeso contenido en la escoria y que se aproximará al equilibrio metal-escoria durante los últimos minutos del soplado. Esto puede apreciarse en forma más clara en la figura de la página 86 .

Con el insuflado de cal por el fondo, (como en el proceso - - LWS, OBM Y Q-BOP) el monóxido de silicio reaccionará preferentemente con la cal, que al reaccionar con el vapor de manganeso obtendremos una mezcla de FeO · MnO.

CAMBIO DEL CONTENIDO DE MANGANESO EN EL METAL DURANTE EL SOPLADO Y CON RESPECTO A LA BASICIDAD DE LA ESCORIA.

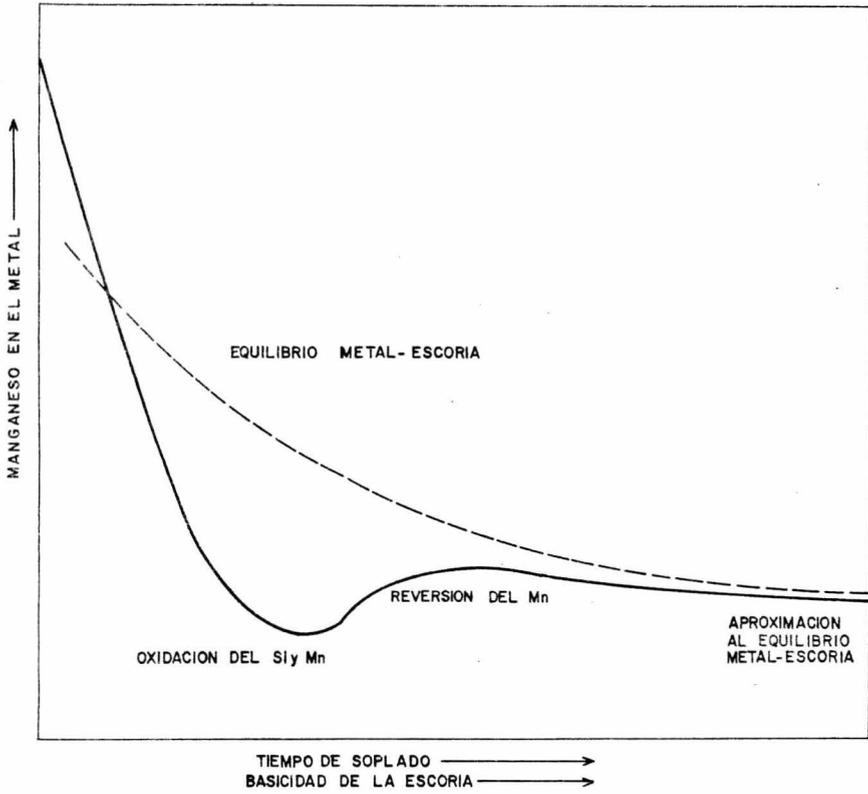


FIGURA: 4.2 -1

Debido al alto coeficiente de actividad del MnO, será reducido por el carbón del baño, resultando nula la oxidación del manganeso durante toda la refinación del silicio.

Después de la eliminación del silicio, la cal podrá reaccionar con los vapores de óxido de hierro, manganeso y fósforo, causando la eliminación del fósforo y algo de manganeso.

La efectividad de la desfosforización en convertidores con insuflado de cal por el fondo puede ser explicada también por el mismo mecanismo de vaporización.

Con altos potenciales en el chorro de oxígeno, el fósforo se elimina del metal como PO y PO₂ gaseoso.

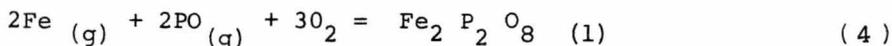
El primer paso en la serie de reacciones de desfosforización del acero, está representado por :



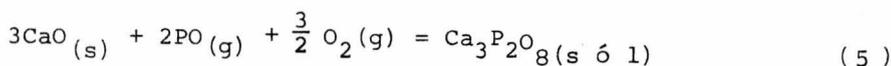
siendo X igual a 1 ó 2, para acero líquido saturado de óxidos de hierro. Siendo el PO₂ la especie más volátil de los óxidos del fósforo. (Ver Ref. B 31.9).

Cuando el oxígeno es soplado sobre la superficie de un baño de metal con hierro y fósforo, estos se volatilizan a velocidades muy grandes por reacciones en fase gas-vapor (4). Por ejemplo -

la siguiente reacción ocurre, en fase vapor cercana a la interfase gas-metal : (Proceso BOF)



con la inyección de cal como en el Q-BOP, se formará fosfato de calcio en vez del fosfato de fierro alrededor del chorro de oxígeno:



Se debe hacer notar que reacciones similares suceden durante la vaporización del fósforo en forma de P_2 ó PO_2 .

Es importante hacer notar que este mecanismo de reacción trae como consecuencia la transferencia de fósforo del metal a fosfato debido a su bajo potencial en atmosferas oxidantes.

Puede presentarse una reversión del fósforo debido a que las partículas obtenidas se vuelven a mezclar con el baño de metal.

Cuando no se inyecta cal en polvo, el producto de la reacción - en fase vapor será fosfato de fierro, el cual sufrirá una reducción al mezclarse con el baño.

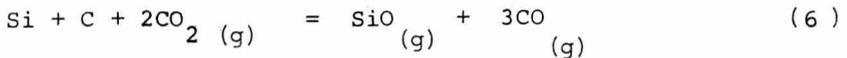
En el proceso BOF no hay desfosforización durante la decarburación, por lo tanto la reversión del fosfato de calcio hacia el baño será casi nula y tardía; consecuentemente, este mecanismo

puede llevarnos a una desfosforización hasta niveles mucho -
menores al equilibrio metal-escoria, como se logran en el -
Q-BOP.

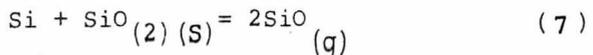
Considerando el mismo mecanismo de reacción en fase gas-vapor,
vamos a estudiar el efecto del carbón en el baño sobre la re-
finación del silicio y fósforo, en virtud del efecto del car-
bono sobre el equilibrio de las presiones parciales del SiO y
PO_X de la interfase gas-metal del chorro de oxígeno.

Debido a la decarburización continua durante el soplado, el -
chorro de gas tendrá un alto contenido de CO principalmente y
CO₂.

Se pueden considerar dos reacciones de vaporización del sili-
cio: En forma de SiO, que posteriormente forma un silicato -
por la siguiente reacción en fase vapor:



para un arrabio conteniendo 4% C y 0.5% Si a 2,960°F, asumiendo
un coeficiente de actividad de un décimo de la saturación en la
interfase gas-metal con una presión total de 2 ATM, P_{CO} = 0.8 y
P_{SiO} = 1.1 ATM. Otra posible reacción es:



por lo que en el equilibrio la presión parcial del SiO es de -

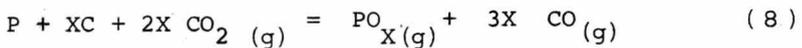
7.1×10^{-4} ATM a $2,960^{\circ}\text{F}$ para arrabio con 4% C y 0.5% Si.

En vista de esta gran diferencia de presiones obtenidas de estas dos reacciones, parece ser que el contenido de carbono en el baño de metal favorece la eliminación del silicio. Por la formación del SiO en la zona oxidante de las toberas.

Esta es tal vez la razón de por qué, en los procesos con insuflado de oxígeno, hay una rápida eliminación de silicio durante los primeros minutos de soplo, que es cuando el contenido de carbono en el baño es alto.

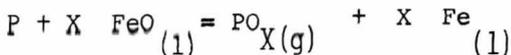
La presión de vapor del fósforo es baja. Por ejemplo a $2,960^{\circ}\text{F}$ P_2 es 1.9×10^{-11} ATM, en un arrabio con 0.1%P. Los óxidos volátiles PO_X tienen una presión mucho mayor bajo condiciones oxidantes.

Las siguientes dos reacciones pueden ser consideradas como posibilidades en la formación del PO_X :



para un acero conteniendo 1% C y 0.1%P con $\frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = \frac{P_{\text{O}}}{P_{\text{X}}}$ tiene un valor de 6.9×10^{-5} ATM a $2,960^{\circ}\text{F}$ y a 2 ATM de presión,

Por lo tanto para la reacción:



PO_X es 1.2×10^{-6} ATM en la saturación.

Comparando estas reacciones se deduce que para la eliminación del fósforo en forma de PO_X será favorecida por la presencia del carbón en el metal. De otra forma, con una reacción metal-escoria, la eliminación del fósforo no se llevaría a cabo con altos contenidos de carbono.

Con referencia a la reacción (8), es importante hacer notar que el coeficiente de actividad del oxígeno que está representado por la relación P_{CO_2}/P_{CO} sobre la superficie del baño, se incrementará al disminuir el contenido de carbón del baño; que de hecho puede ser mayor que el coeficiente de actividad del oxígeno para el equilibrio fierro-óxido de fierro.

Este incremento en la actividad del oxígeno y de la temperatura, causará un aumento de la presión parcial del PO_X aún cuando el contenido de carbón del baño vaya disminuyendo.

Es importante mencionar que la temperatura del chorro debe ser mayor que la del baño. Consecuentemente las presiones del SiO y PO_X serán mayores que las obtenidas en el ejemplo anterior.

Por lo tanto al tenerse una mayor temperatura en la zona de reacción aumentará la desfosforización por este mecanismo.

La eficiencia de la reacción entre el metal y la escoria durante la desfosforización disminuye con el incremento de la temperatura, causando la reversión del fósforo.

Este mecanismo de reacción puede explicar el incremento de la desfosforización en el proceso Q-BOP, con insuflado de cal -- por el fondo durante el soplado.

Esta descripción un tanto cualitativa o descriptiva del mecanismo de reacción por vaporización o por reacciones en fase - gas-vapor, nos da una idea satisfactoria de la efectividad del proceso Q-BOP en la desfosforización, obteniéndose menor oxidación del manganeso y bajos contenidos de oxido de fierro en la escoria.

Conclusiones :

Al proponer los mecanismo de reacción por vaporización o en fase gas-vapor, es posible predecir que el insuflado de oxígeno y cal, por el fondo del convertidor (LWS, OBM y Q-BOP) dará como resultado :

Menor oxidación del manganeso, bajos contenidos de oxido de fierro en la escoria y una alta desfosforización, aún con - altos contenidos de carbón.

También es factible explicar la oxidación del silicio formando SiO Volátil, además de la formación de un oxido volátil - PO_x ayudado por la reacción del CO_2 con el carbono y fósforo del baño.

Para la fabricación de acero de bajo carbono, es posible usar una mezcla de gas inerte, oxígeno y gas natural durante el - final de la decarburización seguido de un purgado con argón para agotar el oxígeno residual remanente en el acero en la última etapa de decarburización.

Esta modificación en la etapa final del soplado puede incrementar el rendimiento metálico de 1 a 2% como resultado de - la disminución de la oxidación del fierro a *bajos contenidos* de carbono en el acero.

CAPITULO V

TABLAS COMPARATIVAS:

5.1.- Datos de operación de convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Procesos LWS, OBM y Q-BOP):

De la información bibliográfica disponible, se obtuvieron algunos datos de operación de varias plantas que utilizan los procesos LWS, OBM y Q-BOP.

El objeto de presentar los datos de operación de los procesos con inyección de oxígeno por el fondo en forma de tabla, es para poder hacer una comparación directa entre ellos.

En la tabla T5.1-1 se muestran los datos de operación de:

-Dos instalaciones de la Empresa Francesa, Sacilor
Licenciataria del proceso LWS.

1.- De la planta en Hagondange, Francia (Ref. B8)

2.- De la planta en Rombas Francia (Ref. B9)

-Dos instalaciones de la empresa Alemana, Maximillian -
Shüette Iron and Steel Company of West Germany,
Licenciataria del proceso OBM.

1.- De la planta en Sulzbach-Rosenberg, Alemania.

(Ref. B17).

2.- De la planta en Thy Marcinelle, Bélgica.

(Ref. B15).

Por ultimo de las instalaciones de la empresa norteamericana United States Steel Corporation, Licenciataria del proceso -- Q-BOP, cuyas negociaciones se hacen a través de la United States Steel Max-Tech-USS Engineers and Consultants y la Pennsylvania Engineering Corporation (PECOR).

1.- De la planta de Gary Works (Ref. B16).

T A B L A T5.1-1

DATOS DE OPERACION

DE LOS PROCESOS

LWS, OBM Y Q-BOP.

PROCESO	LWS		OBM		Q - BOP
Datos de Operación	Nombre de la compañía, localización y país				
	Sacilor Hagon Dange Francia	Sacilor Rombas Francia	Maxshutte Sulzbach Rosenberg Alemania	Maxshutte Thy Marcinelle Bélgica	U. S. S. C. Gary Works U.S.A.
Nº de Convertidores instalados y su capacidad	2/45//3/45	1//30/35	6/30	Exp./21 2/40//2/150	3/200
Fecha de arranque	1971 - 1975	1971 - 1975	1968 - 1970	1971 - 1975	1973
Capacidad instalada ton/año (en operación)	500,000	180,000	1,100,000	440,000	5,000,000
Tipo de arrabio usado (% P)	1,8	1.6 - 2.0	1,8	0.09 - 0.38	0.18 - 0.25
Cantidad de escoria kg/ton			120 - 140		
Consistencia			seca y dura		seca y dura
Basicidad			3 - 3.5		3 - 3.5
% Fe en la escoria		16,0	12 - 17		13 - 17
Pérdidas por vaporizaciones y polvos (kg/ton)	8,0		3,0		
Cantidad de acero: % H ₂		0,0005-0,0008	0,0004		0,0026
% N ₂		0,0015	0,0005	0,0014	0,003 - 0,005
% O ₂		0,08 - 0,10			
% Mn		0,03 - 0,07			
% S en el arrabio		0,030	0,032		0,070
% S en el acero		0,015	0,018	0,005 - 0,010	0,035
% P en el arrabio		1,6 - 2,0	1,8	0,22	0,203
% P en el acero		0,025	0,015	0,12	0,005
Eficiencia metálica		90	91 - 93	92 - 96	90 - 93
Consumos por tonelada de acero producidos:					
Arrabio kg/ton		997,0	695,0	830	
Chatarra kg/ton		106,0	400,0	260	
Peller kg/ton					
Mineral en piedra kg/ton	50 -60	50 - 60			50 - 100
Cal en piedra kg/ton	24	90,0			
en polvo kg/ton	56				
90% (-0,1 mm) kg/min			200 - 400	61	70 - 77
Total kg/ton	80	136 - 140	125,0		
Número de toberas instaladas en el fondo		6	8 - 12	7	
Oxígeno					
m ³ /ton		66,0			
m ³ /min sin cal		165,0	86,67		
Presión sin cal (ATM)		12,0	4 - 5		
Presión con cal (ATM)			10		
Porcentaje de resoplos (%)			2		10
Tiempo de soplo minuto (min)		11	16		
promedio (min)				14	
máximo (min)		12	18		

P R O C E S O		L W S		O B M		Q - B O P
Datos de Operación		Nombre de la compañía, localización y país		Maxshutte		U. S. S. C.
		Socilar Hagon Dange Francia	Sacilar Rombas Francia	Sulzbach Rosenberg Alemania	Thy Marcinelle Bélgica	Gary Works U.S.A.
Nitrógeno:	Tiempo total del proceso (min)		30			31 - 41
	Presión (ATM)		8 - 9			
Propano:	Tiempo de purgado (SEG)		30 - 60			
	kg/ton			3.0		
	Presión			6.0		
Combustible	m ³ /min			0.5		
	l/ton		3.0			
	Presión (ATM)		10			
Refractario	% S en el combustible		0.4			
	mm/colada				2 - 2.5	
	mm/hr de soplo		6 - 7			
	kg/ton		4 - 5		5.0	
	Tipo de ladrillo			Magnesita/ Dolomita	Dolomita	
	Vida del fondo (coladas)	300	400 - 500	320	400	
	Tiempo de reparación (hrs)		12	16 - 24		
	Vida de las paredes (coladas)	500	900	450	750	
	Tiempo de reparación (hrs)		84	72		

En la tabla anterior (T5.1-1) se mostraron los datos de operación de plantas específicas, en donde se puede apreciar, que - aún cuando se usa el mismo proceso, los datos varían, lo que - nos indica que es necesario considerar los valores de cada parámetro en forma de rangos de operación y no únicamente los da tos de operación de una planta específica o los resultados experimentales obtenidos en plantas piloto.

5.2.- Datos de operación de convertidores con insuflado de oxígeno por arriba (Proceso BOF) y en convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Proceso LWS y OMB):

En la tabla T5.2-1, se muestran los datos de operación del proceso BOF con insuflado de oxígeno por arriba y los datos de operación de los convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (procesos LWS y OBM).

La tabla tiene siete columnas. En la primera está el parámetro o variable a analizar, el cual se describe en forma general y breve. Cada proceso tiene dos columnas, de las cuales la del lado izquierdo contiene un número que significa la prioridad u orden de selección, que es asignado a cada proceso dependiendo de las características del parámetro analizado, asignándole el número 1 a la alternativa con las características o valores óptimos - cercanos a lo deseado y el número 3 para la alternativa que más se aleja de lo deseado.

Este sistema de evaluación es recomendable hacerlo en la comparación de procesos, donde intervienen una gran cantidad de variables o parámetros técnicos, siendo necesario aislar cada uno de ellos y seleccionar el proceso más adecuado tomando como comparación exclusivamente una sola variable.

Para la asignación de esta prioridad de selección es necesario considerar los valores numéricos y preguntarse, que proceso se escogería primero, cual en segundo término y por último cual -

en tercer lugar.

Es importante hacer notar que utilizando este sistema, no hay límite de alternativas factibles de comparar; pero en este estudio solo se tienen tres procesos BOF, LWS y OBM.

Cuando no se cuenta con datos numéricos, se sigue el mismo sistema, aún cuando solo se cuente con características deseadas o no deseadas, también consideradas como ventajas y desventajas.

Analizando en detalle cada parámetro de los procesos, se puede llegar a una conclusión o resultado final de la evaluación.

T A B L A T5.2-1

DATOS DE OPERACION

DE LOS PROCESOS

BOF, LWS Y OBM.

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		BOF		LWS		OBM	
I PROCESO METALURGICO							
1.1	<u>Decarburización o Equilibrio Carbono-Oxígeno:</u> Este factor relaciona la pérdida ó ajuste del contenido de carbón en el acero, por la formación de CO (gas).	3	Está limitada por el área de contacto entre el chorro de oxígeno y parte de la superficie del metal líquido que está en contacto con la escoria.	2	El proceso de decarburización es mejor debido al contacto directo entre el metal y el oxígeno.	1	El proceso de decarburización es mejor debido al contacto directo entre el metal y el oxígeno.
1.2	<u>Cantidad de Escoria:</u> La cantidad de escoria depende de las impurezas del baño de metal, lo cual está en relación directa a la composición química del arrabio. Cantidad de escoria máxima Consistencia de la escoria Basicidad	3	145 kg/ton Fluida 3.5	2	85 kg/ton Poco fluída y seca 2.8	1	70 kg/ton Seca y dura 2.5
2.3	<u>Pérdidas de Metal en la Escoria:</u> La cantidad de metal en forma de FeO que se pierde en la escoria, es uno de los factores que aumenta la eficiencia del proceso. Contenido de FeO en la escoria	3	El grado de oxidación de la escoria es alto debido a que la insuflación de oxígeno sobre la superficie, aumenta la posibilidad de pérdidas de metal. 19 - 25%	2	Al haber insuflación de oxígeno por el fondo, cambia la constitución de la escoria. Esto se debe a que su grado de oxidación es menor y en consecuencia las pérdidas de metal son menores. 14 - 16%	1	Al haber insuflación de oxígeno por el fondo, cambia la constitución de la escoria. Esto se debe a que su grado de oxidación es menor y en consecuencia las pérdidas de metal son menores. 13 - 17%

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y ORM

		BOF		LWS		OBM
1.4 <u>Pérdidas de Metal por Vaporizaciones</u>						
En Los procesos de aceración siempre existe la formación de una gran cantidad de humos rojizos en el momento de la insuflación del oxígeno y esto trae como consecuencia la pérdida de metal por vaporizaciones debido a las altas temperaturas de reacción en el momento del soplado. Existe además de la pérdida de metal, una pérdida de energía requerida para la formación de estas partículas de óxidos de hierro. (La entalpia de formación de polvos es de 4 8000 - kcal/kg).		En este proceso hay la formación de una gran cantidad de humos rojizos y en consecuencia las pérdidas de metal son considerables.		Una de las ventajas del soplado por el fondo es la disminución de la formación de humos, lo cual disminuye grandemente las pérdidas de metal por vaporizaciones.		En este proceso hay una disminución de las pérdidas de metal - por vaporizaciones, sin embargo existe un chisporroteo que ocasiona pérdidas de metal en forma de incrustaciones en la boca del convertidor y su limpieza requiere hasta 12 hrs.
Pérdidas de metal por vaporizaciones	3	15 kg/ton	1	1 kg/ton	2	3 kg/ton
1.5 <u>Calidad del Acero</u>						
1.5.1 <u>Contenido de Hidrógeno en el Acero:</u>						
Al emplearse mayores concentraciones de oxígeno puro, el contenido de hidrógeno en el producto final disminuye.		En ciertos convertidores se emplea en el soplado, una mezcla de aire-oxígeno, así que depende en gran parte, de la proporción de aire - que se emplee para obtener un producto final con bajas concentraciones de hidrógeno.		Al emplearse altas concentraciones de oxígeno, se disminuye la concentración de hidrógeno en el acero, pero en este proceso existe una fuente adicional de hidrógeno en el combustóleo que tiene 13.4% H.		En este proceso se emplean grandes concentraciones de oxígeno así que, la concentración de hidrógeno en el acero es muy baja.
Contenido de hidrógeno	3	0.01 - 0.02%	2	0.0025 - 0.0040%	1	Máx. 0.0004%
1.5.2 <u>Contenido de Nitrógeno en el Acero:</u>						
Altas concentraciones de nitrógeno en el acero causan fragilidad debido a la formación de nitruros, y el contenido de nitrógeno en el acero depende de la proporción de aire empleado en el soplado.		En este proceso se utiliza una cierta proporción de aire en el soplado y de esta dependerá el contenido de nitrógeno en el acero. En los convertidores modernos se está utilizando menores concentraciones de aire.		Al disminuir el porcentaje de aire en el soplado, disminuye el contenido de nitrógeno.		En el soplado se emplea oxígeno - de alta pureza, por lo tanto, la concentración de nitrógeno en el acero disminuye.
	3		2		1	

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS; BOF, LWS Y OBM

		B O F		L W S		O B M
Contenido de nitrógeno		0.008 - 0.010%		0.0025 - 0.0035%		0.0010 - 0.0025%
1.5.3 Contenido de Azufre en el Acero:						
El contenido de azufre en el acero, depende del contenido de azufre en el arrabio y de la efectividad del proceso de desulfurización.		La desulfurización en el convertidor depende de la reacción entre la cal y los sulfuros contenidos en el arrabio. Este contenido de azufre es eliminado en forma de escoria. La efectividad del proceso depende en gran parte de la forma de insuflación del oxígeno, mediante una lanza y sobre la superficie del baño de metal líquido		La desulfurización en este convertidor varía de un 30% a 40% (o sea que el contenido de azufre se reduce en un cierto porcentaje dependiendo de la efectividad del proceso y del contenido inicial de azufre en el arrabio). Hay que considerar el contenido de azufre en el combustible.		La desulfurización en este convertidor alcanza valores aceptables.
Contenido de azufre en el acero		0.05% máx.		0.02%		0.01%
Porcentaje de desulfurización posible.	3	10 - 30%	2	30 - 40%	1	30 - 50%
1.5.4 Contenido de Fósforo en el Acero:						
La concentración de fósforo en el arrabio es uno de los factores más importantes que hay que considerar para determinar el consumo de cal y de oxígeno en el proceso de desfosforización.	3	La defosforización en este proceso es regular, debido a la limitación del área de contacto entre la interfase metal-escoria y el oxígeno insuflado sobre la superficie.	2	El contenido final de fósforo se reduce al insuflar por el fondo la cal en polvo junto con el oxígeno.	1	En este proceso el contenido de fósforo alcanza valores aceptables debido al sistema de soplado de cal en polvo y de oxígeno de alta pureza por el fondo.
Contenido de fósforo:						
% P en el arrabio		1.80%		1.600%		0.220%
% P en el acero		0.05%		0.015%		0.012%

1-101

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		B O F		L W S		O B M
II	<u>CONSUMOS</u>					
2.1	<u>Consumo de Oxígeno:</u>					
	El consumo de oxígeno depende de la efectividad del proceso y de las impurezas en el arrabio.					
	Capacidad del convertidor considerado.	201 ton		30 ton		170 ton
	Consumo	54.5 m ³ /ton 545.0 m ³ /min 11,445.0 m ³	1	66.0 m ³ /ton 165.0 m ³ /min 1 980 m ³	2	65.0m ³ /ton 91.6 m ³ /min 1 100 m ³
	Presión	10 - 12 ATM		10 - 12 ATM		10 - 12 ATM
	Porcentaje de O ₂ utilizado en el soplo.	80 - 95%		95 - 99%		98 - 99%
	Agitación del baño durante el soplado.	Poca		Regular		Buena
	Tiempo de soplado	14 - 25 min.		10 - 14 min.		10 - 14 min
	Mínimo	14 min.		10 min.		10 min.
	Promedio normal	21 min.		12 min.		12 min.
	Tiempo total del proceso:					
	Mínimo	40 min.		30 min.		30 min.
	Normal	44 - 45 min.		31 - 32 min.		35 - 36 min.
	Práctica con 2 escorias	50 min.		40 min.		40 min.

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

	BOF		LWS		OBM
2.2	<p><u>Consumo de Cal:</u></p> <p>El consumo de cal está en función de la cantidad de fósforo, azufre y silicio que contenga el metal líquido. Sin embargo, también depende del proceso empleado en la adición de la cal y del contacto directo que tenga con las impurezas del metal fundido.</p>	<p>El consumo de oxígeno y los tiempos de soplado son mayores debido a que el contacto del oxígeno con el metal líquido está limitado a la superficie y la reacción no es tan perfecta.</p>	<p>La reacción del oxígeno con el metal líquido está en función del burbujeo producido con el soplado por el fondo. Por lo tanto, la eficiencia de este proceso hace que los consumos y los tiempos de soplado disminuyan grandemente.</p>	<p>La reacción del oxígeno con el metal líquido está en función del burbujeo producido con el soplado por el fondo. Por lo tanto, la eficiencia de este proceso hace que los consumos y los tiempos de soplado disminuyan grandemente.</p>	
	<p>El consumo de cal está en función de la cantidad de fósforo, azufre y silicio que contenga el metal líquido. Sin embargo, también depende del proceso empleado en la adición de la cal y del contacto directo que tenga con las impurezas del metal fundido.</p>	<p>En este proceso la cal se agrega por la boca del convertidor en forma de piedra caliza. La reactividad de esta con las impurezas, no es muy buena debido al área de contacto entre la cal y las impurezas. Se forma una escoria muy fluida.</p>	<p>En este tipo de convertidor, se agrega piedra caliza por la boca del convertidor y además se insufla en forma de polvo junto con el oxígeno. El hecho de agregarla a una granulometría fina y de tener un contacto directo con el metal fundido, hace que la reacción sea más efectiva, haya mayor eficiencia y un mejor aprovechamiento de la cal.</p>	<p>La adición de cal se hace en forma neumática junto con el oxígeno y se recomienda el uso de cal en polvo con una granulometría donde el 90% de las partículas de cal tengan menos de 0.1 mm. La consistencia de la escoria formada es menos fluida sobre todo menos reactiva y perjudicial para el refractario.</p>	
	<p>Grado de preparación de la cal</p> <p>Cal en piedra</p> <p>Cal en polvo</p> <p>Cal Total</p>	<p>Grueso</p> <p>140 kg/ton</p> <p>-</p> <p>140 kg/ton</p>	<p>Medio y fino</p> <p>24 kg/ton</p> <p>56 kg/ton</p> <p>80 kg/ton</p>	<p>Fino</p> <p>-</p> <p>65 kg/ton</p> <p>65 kg/ton</p>	
2.3	<p><u>Consumo de Gas Propano ó Combustóleo como Protector de las Toberas:</u></p> <p>El gas propano se usa como gas protector. El gas es inyectado por el tubo externo de las toberas con el objeto de protegerlas de un calentamiento excesivo debido a la gran cantidad de calor que se produce por la reacción del oxígeno con las impurezas del metal. Este gas es un combustible que se quema en el momento de salir por la boca</p>	<p>En este proceso no se usa gas propano. El efecto enfriante o refrigerante lo hace la recirculación de agua a través del tubo externo de la lanza.</p>	<p>En este proceso se usa combustóleo que al quemarse protege a la tobera. (Composición del combustóleo 85.8% C, 13.4% H y 0.4% S).</p>	<p>En este convertidor se utiliza gas propano a alta presión, por los tubos exteriores de cada tobera, los cuales quedan protegidos al quemarse este gas a la salida de la punta de la tobera. Se ha utilizado gas propano con muy buenos resultados. Se puede considerar que el consumo de propano es de un 3-5%</p>	

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		BOF	LWS	OBM
de la tobera; se podría pensar que al quemarse se produciría un calentamiento y no un efecto refrigerante, pero sucede lo contrario, porque la energía que necesita para quemarse la toma del metal que está en contacto con la punta de la tobera, la reacción es endotérmica.				del consumo de oxígeno.
Consumo de gas propano		-	-	5.1 kg/ton 0.5 m ³ /min 6.0 ATM
Consumo de combustóleo		-	2.0 kg/ton 10.0 ATM	-
Contenido de azufre en el combustóleo y la variación del contenido final de azufre en el acero.		-	Combustóleo Acero 0.4% S 0.0004% S 2.5% S 0.0025% S	-
Circuito cerrado de agua para el enfriamiento de la lanza.		Si	-	-
2.4 <u>Consumo de Nitrógeno para el Purgado de las Toberas:</u>				
El nitrógeno se utiliza para evitar que el metal líquido penetre a las toberas durante la suspensión del soplo de oxígeno.		En este proceso se utiliza aire a presión.	El nitrógeno se utiliza para protección de las toberas y a veces para la agitación del baño.	El nitrógeno se utiliza para proteger las toberas y se considera que su consumo es de 8.2 - 11.0% del consumo de oxígeno.
Consumo de nitrógeno	1	-	3 15.0 m ³ /ton 165.0 m ³ /min	2 5.3 m ³ /ton 58.3 m ³ /min
Presión		-	2 - 12 ATM	2 - 12 ATM
Duración		-	30 - 60 seg.	30 - 60 seg.

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		BOF		LWS		OBM	
2.5	<u>Consumo de Refractario:</u>						
	El consumo de refractario esta en relación directa con la reactividad de la escoria.		El mayor consumo de refractario sucede en la parte de la boca del convertidor que es donde se forma la escoria.			Las paredes y el fondo del convertidor tienen un desgaste diferente. Las paredes tienen mayor duración con respecto al fondo.	
	Consumo de refractario	3	10.0 kg/ton	2	5.0 kg/ton	1	4.5 kg/ton
	Fondo Convertidor		300-400 coladas 300-400 coladas		400-500 coladas 800-1000 coladas		400-500 coladas 800-1000 coladas
	Tipo de fondo		Fijo		Intercambiable		Intercambiable
	Tipo de refractario		Magnesita		Magnesita ó Dolomita		Magnesita
	Tiempo de reparación total del:						
	Fondo completo		-		12 hrs.		16 - 24 hrs.
	Convertidor	3	98 - 122 hrs.	1	84 - 98 hrs.	2	92 hrs.
2.6	<u>Consumo de Arrabio, Chatarra y Mineral ó Pelets por tonelada de Acero:</u>						
	Arrabio - kg.		650		997		888
	- Por ciento en peso		65%		55%		45%
	Chatarra - kg.		450		103		222
	- Por ciento en peso		30%		40%		50%
	Mineral - A granel		50 - 100 kg		50 - 90 kg.		20 kg.
	- En polvo		-		-		80 kg.
	Pelet 12 - 25 mm		100 kg.		100 kg. max.		100 kg. max.
	Reacción del pelet en el baño		Controlable		Incontrolable		Incontrolable
	Penetración del pelet en el baño		Alta		Regular		Poca
	Flotabilidad en la escoria		Poca		Regular		Alta

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		B O F		L W S		O B M	
III	<u>CONDICIONES DE OPERACION</u>						
3.1	<u>Eficiencia del Convertidor:</u> La eficiencia del convertidor relaciona la cantidad real de metal fundido que se obtiene y las impurezas indeseables. $\% \text{ En peso} = \frac{\text{Metal Fundido}}{\text{Arrabio} + \text{Chatarra} + \text{Adiciones}}$ Eficiencia	3	85%	2	90%	1	90 - 93%
3.2	<u>Disponibilidad del Convertidor:</u> Este es un factor muy importante que hay que considerar, porque de él depende el tiempo efectivo de aprovechamiento del convertidor.	1	Las pérdidas de tiempo en las reparaciones totales están compensadas con la producción obtenida durante la campaña.	2	Las pérdidas de producción se deben principalmente a los paros ocasionados por los cambios del fondo ó reparaciones totales del convertidor. Se tiene la ventaja de que cada tobera tiene un control individual.	3	Las pérdidas de producción se deben principalmente a las reparaciones del fondo, y se tiene la desventaja de que en cualquier problema con las toberas, es necesario el cambio total del fondo.
3.3	<u>Operación del Sistema de Inyección:</u> El sistema de inyección de oxígeno, nitrógeno, aire, gas, combustible ó cal, es un factor bastante importante en la operación del convertidor y de este depende el buen funcionamiento del proceso.	1	El sistema neumático es sencillo y su operación no implica muchas variables.	3	El sistema neumático es complicado debido al control individual que se tiene para cada tobera. Su operación requiere de un control preciso de muchas variables.	2	El sistema de inyección es complicado debido a que dentro de una misma línea pasan varios fluidos y el control de su operación requiere mucha instrumentación.

1001

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		B O F		L W S		O B M	
3.4	<u>Operación del Sistema de Carga:</u> La carga del convertidor es relativamente fácil y su operación está en función de una secuencia pre-establecida, lo cual implica que se puede considerar igual para cualquier proceso, y únicamente dependería del tonelaje ó capacidades de operación.						
3.5	<u>Operación del Convertidor:</u> Dentro de este factor, están considerados varios aspectos, como son la facilidad de operación, su control y complicaciones de la interacción de todas las variables del proceso.	1	Es fácil	3	Es complicada	2	Es complicada
3.6	<u>Operación de la Planta de Oxígeno:</u> Es igual para todos los procesos y depende de la capacidad instalada.						

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		BOF		LWS		OBM
IV <u>INSTALACIONES REQUERIDAS</u>						
4.1	<u>Relación Altura-Diámetro del Convertidor:</u>					
	Relación H/D	1.18 - 1.42		1.36		1.18
	Volumen	82.1 - 96.5 m ³		26.1 m ³		174.5 m ³
	Capacidad	110 - 120 ton (SICARTSA)		30 ton (ROMBAS)		210 ton (SALZGITTER)
	Volumen específico	0.75 - 0.80 m ³ /ton	3	0.87 m ³ /ton	2	0.83 m ³ /ton
4.2	<u>Construcción Civil y Estructural para la Instalación de una Lanza ó de Toberas:</u>					
	Se refiere a la obra civil y estructural para la construcción e instalación de un convertidor con insuflación de oxígeno con lanza ó con sistema de toberas en el fondo.	Las instalaciones necesarias para una lanza son elevadas y la cimentación debe de ser profunda debido a la altura del edificio.	3	El edificio no es alto y la cimentación necesaria para la estructura no es muy profunda en comparación con la requerida en un edificio donde se va a instalar un convertidor con una lanza.	2	El edificio no es alto y la cimentación necesaria para la estructura no es muy profunda en comparación con la requerida en un edificio donde se va a instalar un convertidor con una lanza.
4.3	<u>Instalaciones Neumáticas de una Lanza o Toberas:</u>					
	Una lanza o un sistema de toberas requiere de instalaciones neumáticas, las cuales nos proporcionan el flujo de los diferentes gases necesarios para el proceso.	La instalación neumática es relativamente sencilla debido a que solo hay flujo de oxígeno y agua de recirculación para el enfriamiento de la lanza. El control de flujo no es complicado y no requiere de instalaciones complicadas en comparación con las instalaciones requeridas para la instalación de toberas.	1	La instalación de las toberas del convertidor es complicada. Se requiere un control complicado debido a que se tiene una instalación y un control separado para cada tobera.	3	La instalación neumática en este convertidor es complicada debido a los diferentes fluidos que se emplean en el convertidor, pero la ventaja es que solo existe solo un control maestro para todas las toberas del fondo.

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		B O F		L W S		O B M	
4.4	<u>Instalación de Tolvas de Carga para Adiciones:</u> La carga de adiciones en el convertidor se hace en forma mecánica y se puede considerar que depende del tonelaje deseado.	3	El tamaño de las tolvas y la capacidad de estas es bastante grande debido a que la adición de cal se hace por la boca del convertidor al igual que todas las adiciones.	2	Se tiene un sistema de carga con tolvas de capacidades pequeñas, debido a que solo se emplea para las adiciones. Existe la posibilidad de adición de cal en piedra para ciertas ventajas del proceso.	1	Las instalaciones son mínimas y únicamente se emplean para las adiciones.
4.5	<u>Instalación de una Planta de Cal:</u> Para la preparación de cal a un grado fino, es necesario instalar una planta procesadora de cal en piedra que proporcione una molienda de - 0.1 mm.	1	En este proceso no es necesaria la preparación de cal hasta un grado fino.	3	Es necesario la instalación de una planta de cal.	2	Es necesario la instalación de una planta de cal.
4.6	<u>Instalaciones de Instrumentación y Control Electrónico:</u> La complicación de la instrumentación y el control electrónico de un proceso depende de las instalaciones para su operación y del proceso en particular.	1	La instrumentación y el control están limitados al flujo de oxígeno y agua de refrigeración de la lanza. También se requiere la instrumentación para el control del convertidor y se recomienda la instalación de una computadora para el cálculo de las cargas y las adiciones necesarias.	3	La cantidad de fluidos que se requieren en el proceso, requieren una instrumentación complicada debido a que cada tobera es controlada individualmente, también se requiere de la ayuda de una computadora para el control y el cálculo de las adiciones. Toda la instrumentación es necesaria para un mejor control del proceso.	2	El convertidor requiere de la ayuda de una computadora para un mayor control y rapidez del proceso. La instrumentación para el control de los fluidos necesarios para el proceso, es complicada, pero esta ayuda a que se obtenga una eficiencia mucho mayor del proceso.

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

	BOF	LWS	OBM
<p>4.7 <u>Instalaciones de Carga y Descarga del Convertidor:</u></p> <p>Todas las instalaciones que se requieren para cargar y descargar el convertidor son por ejemplo: grúas, carros transportadores de arrabio, ollas de colada, sistema hidráulico y mecánico para la inclinación de volteo del convertidor, etc.</p>	<p>Las instalaciones de carga y descarga son casi las mismas para cualquier tipo de convertidor y solo varían dependiendo de la capacidad y de las características del proceso. En este tipo de convertidor se emplean equipos no muy complicados para su carga y descarga.</p>	<p>Las instalaciones mecánicas para la carga y descarga del convertidor solo dependen de las dimensiones del convertidor y de su capacidad de producción.</p>	<p>Las instalaciones mecánicas son las mismas que se requieren para cualquier tipo de convertidor y solo dependen del proceso en sí y de su capacidad de producción.</p>
<p>4.8 <u>Instalaciones para el Control de la Contaminación:</u></p> <p>Todas las instalaciones como por ejemplo, el sistema OG, ó cualquier otro tipo de lavador y recuperador de polvos se pueden adaptar a cualquier tipo de convertidor.</p>	<p>Se puede emplear cualquier tipo de control anticontaminante, pero tiene cierta dificultad para su adaptación debido a la gran altura que se requiere para la instalación de la lanza y al diseño de la boca del convertidor que en ciertos casos no es concéntrica.</p>	<p>Es fácil adaptarlo. Se puede tomar en cuenta que la cantidad de polvos y gases son mucho menores, por lo tanto el equipo anticontaminante también será de menores dimensiones.</p>	<p>Es fácil adaptarlo. Se puede tomar en cuenta que la cantidad de polvos y gases son mucho menores, por lo tanto el equipo anticontaminante también será de menores dimensiones.</p>
<p>4.9 <u>Instalaciones para el Mantenimiento y Almacenaje del Refractario:</u></p> <p>Para agilizar el mantenimiento y las preparaciones del refractario en el convertidor, es necesario tener ciertos equipos de transporte y lugares de almacenaje, con el objeto de reducir a un mínimo el tiempo perdido inútilmente en las campañas de preparación del convertidor. Para esto se cuenta ya sea con un lugar de almacenaje en el piso de tolvas o bien al mismo nivel del suelo. Esto depende de si las reparaciones del convertidor se hacen por la boca del convertidor ó sea que el enladrillado se hace de abajo hacia arriba ó -</p>	<p>Se recomienda tener el refractario al nivel de carga de adiciones, lo cual requiere el transporte y el almacenaje en lugares especiales.</p>	<p>En este tipo de convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor. Para estas reparaciones se requiere de equipo especial para desmontar el fondo y también para la reparación interna del convertidor.</p>	<p>En este tipo de convertidor se hacen reparaciones tanto del fondo como del interior del convertidor. Para estas reparaciones se requiere de equipo especial para desmontar el fondo y también para la reparación interna del convertidor.</p>

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

	B O F	L W S	O B M
<p>bien que se tengan que hacer cambios del fondo completo de convertidor lo cual se recomienda tener el material necesario al nivel del suelo.</p>			

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

	BOF	LWS	OBM
V FACTORES INTANGIBLES			
<p>5.1 Disponibilidad de la Materia Prima:</p> <p>Dependiendo de la facilidad de obtención de la materia prima es en gran parte el éxito del proceso. En el proceso se requiere de arrabio, chatarra, mineral, pellet, cal gas natural, gas propano, combustóleo, agua, fundentes, ferroaleaciones y el refractario.</p> <p>También hay que tomar en cuenta la inversión para las instalaciones adicionales.</p>	<p>Para este proceso sí se dispone del suficiente arrabio, de chatarra, mineral; hay posibilidad de emplear pellets, y se dispone de la suficiente agua, fundentes, ferroaleaciones y del refractario.</p>	<p>Debido a las características del proceso, se tiene que si se dispone del suficiente arrabio, se tiene una cierta deficiencia de chatarra debido a la alta capacidad de fundición del convertidor, pero se se tiene la desventaja de no poder usar pellets en grandes cantidades; también hay la necesidad de una planta de cal y de combustóleo. De las cuales es necesario hacer las instalaciones necesarias para su utilización.</p>	<p>Este tipo de convertidor requiere de grandes cantidades de chatarra, de la cual solo disponemos de una cantidad limitada. La utilización de pellet es limitada y esta es una desventaja para México. Se requiere la instalación de una planta de cal y de una línea con gas propano.</p>
<p>5.2 Número de Plantas en Operación:</p> <p>De acuerdo a la aceptación del proceso y a su antigüedad, se puede considerar como factor importante dentro de un estudio técnico, el número de convertidores instalados en el mundo. De diciembre de 1967 a junio de 1974.</p>	<p>515 Convertidores</p>	<p>9 Convertidores</p>	<p>45 Convertidores</p>
<p>5.3 Capacidades Instaladas:</p> <p>Se refiere a la capacidad de producción neta de acero que se produce con cada tipo de convertidor.</p>	<p>453.75 millones de ton.</p>	<p>1.99 millones de ton.</p>	<p>17.4 millones de ton.</p>

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

FACTORES TECNICOS ENTRE LOS PROCESOS: BOF, LWS Y OBM

		BOF		LWS		OBM	
5.4	<u>Capacidad Mínima y Máxima del Convertidor:</u> Se refiere al tamaño y capacidad del convertidor instalado.	1	20 - 385 ton.	3	25 - 65 ton.	2	5 - 240 ton.
5.5	<u>Experiencia y Aceptación del Proceso:</u> Hay procesos que estan aún en desarrollo y no se tiene aún los suficientes resultados de su efectividad, pero sin embargo, tienen un gran futuro y un potencial muy grande. En este factor, es necesario considerar la experiencia y su posibilidad de desarrollo de su tecnología. Experiencia de operación en instalaciones industriales.	1	22 Años	3	4 Años	2	6 Años
	Antigüedad del proceso		1864		1970		1967
5.6	<u>Experiencia en México sobre el Proceso</u> Se refiere a las instalaciones que se tienen en el país y al éxito obtenidos en ellas. Número de convertidores Capacidad		3 60 ton.		- -		- -

TABLA COMPARATIVA T5.1-1

Después de haber analizado detalladamente la información de las tablas anteriores, se deben concentrar o resumir las prioridades asignadas a cada proceso.

En la tabla T5.2-2 se encuentra el resumen de las prioridades asignadas a cada variable o parámetro.

T A B L A T5.2-2

RESUMEN DE LAS

PRIORIDADES ASIGNADAS

A LOS PARAMETROS

TECNICOS DE LOS

PROCESOS BOF, LWS

Y OBM.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS FACTORES TECNICOS ENTRE LOS CONVERTIDORES: BOF, LWS OBM

		BOF	LWS	OBM	OBSERVA- CIONES Y REFS.
I	<u>PROCESO METALURGICO</u>				
1.1	Decarburización o equilibrio carbono - oxígeno	3	2	1	
1.2	Cantidad y consistencia de la escoria	3	2	1	
1.3	Pérdidas de metal en la escoria	3	2	1	
1.4	Pérdidas de metal por vaporizaciones	3	1	2	
1.5	Calidad del acero:				
1.5.1	Contenido de hidrógeno en el acero	3	2	1	
1.5.2	Contenido de nitrógeno en el acero	3	2	1	
1.5.3	Contenido de azúfre en el acero	3	2	1	
1.5.4	Contenido de fósforo en el acero	3	2	1	
II	<u>CONSUMOS</u>				
2.1	Consumo de oxígeno	1	3	2	
2.2	Consumo de cal	3	2	1	
2.3	Consumo de gas propano o combustóleo como protector de las toberas	1	3	2	
2.4	Consumo de nitrógeno para el purgado de las toberas	1	3	2	

TABLA T5.2-2

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS FACTORES TECNICOS ENTRE LOS CONVERTIDORES: BOF, LWS OBM

	BOF	LWS	OBM	OBSERVA- CIONES Y REFS.
2.5 Consumo de refractario	3	2	1	
2.6 Consumo de arrabio, chatarra y mineral o pellet	3	1	2	
III <u>CONDICIONES DE OPERACION</u>				
3.1 Eficiencia del convertidor	3	2	1	
3.2 Disponibilidad del convertidor	1	2	3	
3.3 Operación del sistema de inyección	1	3	2	
3.4 Operación del sistema de carga				
3.5 Operación del convertidor	1	3	2	
3.6 Operación de la planta de oxígeno				
IV <u>INSTALACIONES REQUERIDAS</u>				
4.1 Relación Altura-diámetro del convertidor	3	2	1	
4.2 Construcción civil y estructural para la instalación de una lanza o de toberas	3	2	1	
4.3 Instalaciones neumáticas de la lanza o toberas	1	3	2	
4.4 Instalación de tolvas de carga para adiciones	3	2	1	

TABLA T5.2-2

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS FACTORES TECNICOS ENTRE LOS CONVERTIDORES: BOF, LWS OBM

	BOF	LWS	OBM	OBSERVACIONES Y REFS.
4.5 Instalación de una planta de cal	1	3	2	
4.6 Instalaciones de instrumentación y control electrónico	1	3	2	
4.7 Instalaciones de carga y descarga del convertidor				
4.8 Instalaciones para el control de la contaminación	3	2	1	
4.9 Instalaciones para el mantenimiento y almacenaje del refractario.				
V <u>FACTORES INTANGIBLES</u>				
5.1 Disponibilidad de la materia prima	1	2	3	
Instalaciones adicionales	1	2	3	
5.2 Número de plantas en operación	1	3	2	
5.3 Capacidades instaladas	1	3	2	
5.4 Capacidad mínima y máxima del convertidor	1	3	2	
5.5 Experiencia y aceptación del proceso	1	3	2	
5.6 Experiencia en México sobre el proceso				

TABLA T5.2-2

Existen ciertas variables con las mismas características para cada una de las alternativas, donde no es necesario hacer una evaluación o asignación de prioridades, en vista de que no es relevante para la comparación. El éxito de esta evaluación depende de los criterios empleados en la asignación de prioridad.

El método más adecuado para evaluar las prioridades es establecer:

La Gravedad, La Urgencia y La Tendencia:

La Gravedad .- Es la importancia de la variable considerada en el proceso.

La Urgencia .- Es la necesidad de obtener los resultados deseados.

La Tendencia.- Es la posibilidad de lograr los resultados deseados.

A cada uno de estos factores, se les puede asignar un valor numérico, que multiplicados entre sí, da un criterio para asignar una prioridad de selección de 1,2 o 3 a cada variable.

Este método no es el único que existe, pero para esta evaluación, es uno de los más apropiados.

En esta evaluación se utilizaron datos de operación específicos, sin tomar en cuenta un rango determinado que es lo más recomen-

dable para procesos instalados en diferentes países y sobre todo influenciados por posibles diferencias en la operación de los procesos.

5.3.- Comparación de datos de operación entre convertidores - con soplado de oxígeno por arriba (BOF) o por inyección de oxígeno por el fondo (LWS, OBM):

De las dos tablas anteriores se puede concluir que es necesario utilizar los rangos de operación de cada proceso, por lo que en la siguiente tabla T.5.3-1 se muestran los rangos de operación de cada uno de los parámetros técnicos de cada proceso.

Como se puede apreciar en cada parámetro se obtuvo un rango de valores y de acuerdo a este, se hizo la comparación entre las varias alternativas o procesos disponibles.

En estas tablas se eliminaron algunos de los parámetros que no tenían una influencia o trascendencia en la comparación de los procesos.

Existen parámetros que en las diferentes alternativas tiene el mismo valor o la misma característica, por lo que ya en una comparación resulta ser irrelevante el resultado de la evaluación de ese parámetro y en consecuencia de cada proceso.

La evaluación se calculó en base a un peso "P" con valores de 10 a 1 según la importancia o trascendencia de este parámetro dentro del proceso y se le asignó una calificación "C"; comparando horizontalmente cada alternativa, se le asigna un valor de 10 al parámetro, del proceso con un valor óptimo o cercano a lo deseado y valores menores hasta 1 para el valor del parámetro que más se aleja de lo deseado.

Una vez asignados los pesos "P" a los parámetros a comparar y la calificación "C" de cada alternativa, se multiplicaron entre sí y se obtuvo un valor "CS" o calificación sopesada. Esto da como resultado un número no mayor de 100 ni menor de 1, que se sumará para obtener un total que nos servirá para hacer la evaluación de la mejor alternativa o proceso a considerar. (Método A.D. de la Referencia B30 y E1).

Este sistema de evaluación de alternativas, tiene por objeto, facilitar la elección adecuada después de haber tomado en cuenta y por separado un gran número de criterios que surgen del exámen de los diferentes parámetros considerados. De no ser usado este método, lo más probable es que una decisión constituya una transacción entre lo que se desea, en un sentido ideal y lo que en realidad se debe elegir.

TABLAS T . 3-1

COMPARACION TECNICA ENTRE

LOS PROCESOS BOF, LWS Y OBM.

FACTORES CUANTIFICABLES	P	C	CS	BOF		LWS		OBM		
				C	CS	C	CS	C	CS	
1 PROCESO METALURGICO										
1.1 Decarburización:	10	7	70	Poca controlable	10	100	Controlable	10	100	Controlable
1.2 Cantidad de escoria: (Kg/ton)	9	8	72	140,0-160,0	9	81	130,0-150,0	10	90	120,0-140,0
Consistencia	6	7	42	Fluida	10	60	Poca fluida y pastosa	10	60	Poca fluida y pastosa
Basicidad				2,5-3,5			2,5-3,5			3,0-3,5
1.3 Pérdidas de metal en la escoria:										
Kg/ton FeO				7,0						
Kg/ton Fe ^o				5,5						
Kg/ton de salpicaduras				1,5						
Total (Kg/ton)	10	2	20	14,0	5	50	8,0	10	100	3,0
1.4 % FeO en la escoria	10	6	60	19,0- 25,0	9	90	14,0- 16,0	10	100	13,0- 17,0
1.5 Composición del acero producido:										
% H ₂	8	1	8	0,010-0,020	10	80	0,0020-0,0080	3	24	0,0004-0,0025
% N ₂	10	1	10	0,008-0,010	2	20	0,0015-0,0035	10	100	0,0005-0,0015
% O ₂							0,0800-0,1000			
% Mn							0,0300-0,0700			
% S ₂ en el arrabio				0,0300-0,0500			0,0300-0,0350			0,0320-0,0700
% S ₂ en el acero				0,0210-0,0350			0,0150-0,0170			0,0150-0,0350
% P ₂ en el arrabio				1,6000, 2,0000			1,8000			0,203, 0,220, 1,800
% P ₂ en el acero				0,0300, 0,0500			0,0250			0,005, 0,120, 0,015
Desulfurización (%)	10	8	80	42,8	9	90	50,8	10	100	50,9
Desfosforización (%)	9	5	45	52,3	7	63	71,0	10	90	99,0

FACTORES CUANTIFICABLES		P	C	CS	BOF	C	CS	LWS	C	CS	OBM
II CONSUMOS											
2.1 Oxígeno:											
m ³ /ton	10	10	100	45.0- 55.0	9	90	50.0- 65.0	8	80	60.0- 65.0	
m ³ /min (sin cal)				500.0-600.0			250.0-300.0			80.0- 90.0	
m ³ /min (con cal)				-			800.0-900.0			200.0-300.0	
m ³ /min (resoplo con cal)				-			-			500.0-600.0	
Presión sin cal (ATM)				10-12			10-12			4-5	
Presión con cal (ATM)							20			10	
mínimo				15			10			10	
promedio	10	6	60	20	10	100	12	7	70	14	
máximo				25			14			18	
Tiempo de soplo (min)	10	1	10		3	30		10	100	2-10	
Porcentaje de resoplos	8	10	80	Lanza	5	40	6	1	8	6-18	
Número de toberas	8	1	8	Agitación del baño	9	72	Alta	10	80	Alta	
Agitación del baño	10	8	80	40-45	9	90	35-40	10	100	31-41	
Tiempo total del proceso (min)											
2.2 Cal:											
En piedra Kg/ton				80-140.0			24.0			65.0	
En polvo Kg/ton							56.0			90% (0,1 mm)	
Granulometría	10	10	100	25- 50 mm	2	20	90% (0,1 mm)	2	20	65.0	
Total Kg/ton	8	5	40	140.0	6	48	80.0	10	80		
2.3 Fluido protector de la lanza o tobera:											
Gas Propano:											
Kg/ton				-			-			5.0-6.0	
m ³ /min				-			-			0.5-3.0	
Presión (ATM)				-			-			6	
Combustóleo											
l/ton				-			1.5-3.0				
Kg/ton				-			2.0-3.0				
Presión (ATM)				-			10				
Si se usa combustóleo con %S				-			0.4000	2.5000	3.0000		
Se obtiene un %S en el acero				-			0.0004	0.0025	0.0050		
Agua				Lanza			-				
2.4 Nitrógeno											
Para el purgado de las toberas											
m ³ /ton	6	10	60	-	3	18	15.0	5	30	5,3	
Duración (seg)				-			30-60			30-60	
Presión (ATM)				-			2-10			2-10	

FACTORES CUANTIFICABLES	P	C	CS	BOF		C	CS	LWS		C	CS	OBM	
2.5 Refractorios:													
Vida del Fondo (coladas)	10	10	100	-	-	5	50	350-450	5	50	300-500		
Tipo de refractorio usado				-	-			Magnesita (apisonada)			Magnesita (lodrillo)		
Tiempo de reparación del fondo	10	10	100			8	80	12.00	5	60	16.00-24.00		
Vida de las paredes (coladas)	9	5	45	300-400	500-600	10	90	700-900	4	54	450-750		
Tipo de refractorio usado				Dolomita	Magnesita			Dolomita			Dolomita	Magnesita	
Tiempo de reparación Total (hrs)	10	6	60			8	80	108.00	10	100	24.00-96.00		
Kg/ton	10	5	50	10.0	5.0-6.0	9	90	4.0-5.0	10	100	5.0		
mm/colada								6.0-7.0			2.0-2.5		
mm/hr de soplo													
2.6 Carga: (Kg/ton de acero)													
Arrabio (Kg)	9	9	81	936.0- 950.0	77-85%	10	90	895.0- 995.0	8	72	695.0- 888.0	67-61%	
Chatarra (Kg)	10	4	40	160.0- 134.0	14-12%	10	100	105.0- 160.0	5	50	200.0- 400.0	18-28%	
Mineral (Kg)	7	10	70	50.0	4-0 %	6	42	50.0- 90.0	9	63	10.0- 20.0	1- 1%	
Pellet (Kg)	7	9	63	50.0- 27.0	4- 2%	5	35	50.0- 60.0	10	70	70.0- 80.0	8- 5%	
Adiciones (Kg)				15.0- 5.0	1- 1%			15.0- 20.0			50.0- 60.0	5- 4%	
Peso total (Kg)				1 211.0-1, 116.0				1 115.0-1 325.0			15.0- 20.0	1- 1%	
											1 040.0-1 468.0		
2.7 Eficiencia metálica (%)	10	8	80	85 - 95		9	90	90 - 95	10	100	91 - 96		

FACTORES INTANGIBLES		P	C	CS	BOF	C	CS	LWS	C	CS	O B M
IV	<u>ACEPTACION DEL PROCESO</u>										
4.1	Disponibilidad de Chatarra.	10	10	100	MAYOR	9	90	REGULAR	7	70	MENOR
4.2	Disponibilidad de propano ó Combustóleo.	10	10	100	MAYOR	8	80	REGULAR	5	50	MENOR
4.3	Número de convertidores existentes en el mundo hasta 1974.	6	10	60	515	1	6	9	3	18	45
4.4	Capacidad instalada hasta 1974. (Millones de ton por año)	7	10	70	453.75	1	7	1.99	4	28	17.36
4.5	Capacidad en proyecto hasta 1980. (Millones de ton por año)	8	10	80	163.20	1	8	2.55	4	32	12.90
4.6	Número de convertidores en proyecto de 1974 a 1980.	9	10	90	86	2	18	8	8	72	8
	Capacidad (ton)				18 - 385			35 - 70			150 - 250
4.7	Años de experiencia de operación en instalaciones industriales.	9	10	90	22	2	18	4	3	27	6
4.8	Experiencia de operación en la I Etapa de SICARTSA.	10	10	100	MAYOR	1	10	NINGUNA	1	10	NINGUNA

De la tabla anterior se puede concluir que:

- 1.- Cada parámetro o variable es analizado por separado, sin embargo al asignarle un peso "P" se está tomando en cuenta, qué tan importante es esta variable o parámetro dentro del proceso.
- 2.- Cada alternativa es analizada y evaluada con respecto a las demás.
- 3.- La asignación de la calificación "C" de 10, a la alternativa de procesos que más se acerque a lo deseado, asegura la importancia de ésta con respecto a los restantes.
- 4.- El valor "CS" o "Calificación Sopesada", nos da una medida exacta, de la importancia de esta variable, con respecto a las alternativas disponibles y sobre todo con el proceso en si.
- 5.- La suma de los valores "CS" nos da una medida comparativa simple y significativa, que sirve para hacer la selección de la mejor alternativa disponible analizada.

Es necesario hacer notar, que el resultado de esta evaluación, nos permite tener un panorama simplificado de cada uno de los procesos; sin embargo, se recomienda que con el fin de tener el estudio completo desde los puntos de vista técnico y económico, se proceda a efectuar un estudio económico de los costos

tos de capital y de operación de los diferentes procesos. De esta manera se tendrá una imagen completa de las ventajas y desventajas que desde cualquier punto de vista se tendrán al evaluar una acería con convertidores de insuflado de oxígeno por arriba o con inyección de oxígeno por el fondo.

CAPITULO VI

ANALISIS DE PROCESOS:

6.1.- Método de Evaluación de Procesos

Una decisión, siempre es una elección entre varias formas de hacer una cosa en particular o de lograr un fin. A menudo es difícil hacer tal elección, debido a que se puede tomar una decisión únicamente cuando se hayan tomado en cuenta y por separado un gran número de criterios que surgen del exámen de numerosos hechos. Lo más probable es que una desición constituya una transacción entre lo que el directivo desea, en un sentido ideal, y lo que en realidad puede hacerse. Pero es su responsabilidad elegir aquella acción que logre más al menor costo y que presente las menores desventajas.

Muchas de las decisiones con que se enfrenta en las operaciones diarias encierran elecciones muy sencillas y una cantidad de información relativamente pequeña. Sabe cuáles son sus objetivos, sopesa su importancia y valora las formas de hacer un trabajo, todo en cuestión de segundos y sin molestarse en escribir nada. Esto es perfectamente adecuado. Pero cuando surgen decisiones de importancia primordial y se enfrenta a una gran cantidad de información complicada, a menudo no se preocupa de anotar y valorar todos los factores involucrados. Esto es un

error, pues ningún directivo es capaz de conservar en la cabeza todas las diversas evaluaciones y los factores que intervienen en una decisión de peso.

El proceso de la toma de decisiones es difícil porque implica no solamente experiencia, conocimientos, sentido común y criterio, sino también muchas incertidumbres futuras que pueden amenazar la decisión tomada.

A continuación se expresan los diferentes pasos a seguir para el análisis de procesos y la toma de decisiones:

- 1.- Establecer objetivos frente a los cuales elegir.
- 2.- Clasificar los objetivos según su importancia.
- 3.- Desarrollar alternativas entre las cuales escoger.
- 4.- Evaluar las alternativas frente a los objetivos para hacer la elección.
- 5.- Escoger la mejor alternativa como decisión tentativa.

Este proceso corrige también los errores comunes que se cometen en la toma de decisiones. Uno de estos errores ocurre, por -- ejemplo, cuando los directivos buscan primero las alternativas y empiezan luego a evaluarlas sin detenerse a establecer los objetivos de sus acciones. También cometen otro error cuando proceden a escoger la alternativa y dejan que ésta establezca sus

objetivos.

Evidentemente, no tiene sentido que un directivo trate de escoger el mejor entre varios procesos, si no ha definido lo - que pretende **lograr**.

Con el objeto de ilustrar el método, se presenta a continuación un ejemplo sencillo:

Consideremos la decisión que tiene que tomar un directivo que, cómodamente instalado en una casa ~~agradable~~, se entera de pronto que una nueva autopista va a pasar por lo que es ahora su sala, y tendrá que comprar una nueva casa en un plazo de sesenta días.

Esto, para el directivo, constituye un problema. No tiene que analizarlo para hallar la causa, puesto que ésta es conocida. Cuando los ingenieros municipales llamaron a su puerta, le informaron de la ruta y las fechas de construcción .

Recibirá un precio justo por su casa actual, pero no puede apelar ni influir sobre la acción tomada por el departamento de - caminos. En consecuencia, acomete directamente la toma de decisiones.

Empieza considerando sus objetivos. Trabaja en una gran ciudad y hay miles de casas entre las que escoger, pero no se conforma

con cualquiera. Desea para él y su familia una casa tan perfecta como le sea posible obtener, dentro de lo que puede gastar. Si ha de reconocer esta magnífica residencia cuando la vea, tendrá que empezar por dar ; sus especificaciones en términos de lo que quiere que sea la casa y lo que ésta le proporcione. Su conjunto de objetivos formará el patrón con el que medirá las diferentes casas que vea.

El directivo se sienta y empieza a pensar acerca de sus objetivos. Considera primero los OBLIGATORIOS, lo que tiene que tener en su nueva casa; sus recursos, el dinero que tiene en el banco y lo que está en posibilidades de pagar cada mes por concepto de impuestos, seguros, capital e intereses. Piensa en su familia y decide que debe tener cuatro dormitorios y dos cuartos de baño; piensa en su transporte diario a la oficina, y decide que no desea vivir en la ciudad, pero que no puede estar a más de cuarenta y cinco minutos de distancia, en automóvil, desde el estacionamiento del centro de la ciudad. EL OBLIGATORIO final es que deberá estar lista para ocuparla dentro de sesenta días.

A continuación el directivo enfoca los objetivos DESEADOS, lo que gustaría lograr al comprar la nueva casa. Empieza viendo los objetivos OBLIGATORIOS que ya ha establecido. A algunos de éstos los clasifica, además, como DESEADOS; por ejemplo, ha

bía fijado un límite absoluto de 125,000 pesos para el pago inicial, pero le gustaría pagar menos si fuera posible, y por lo tanto, el "pago inicial mínimo" se transforma en uno de sus objetivos DESEADOS. Hace lo mismo con el objetivo de pagos mensuales. A continuación añade otros objetivos DESEADOS señalados por sus recursos. Por ejemplo, desea utilizar su mobiliario y aparatos eléctricos actuales y desea un garaje para dos automóviles. Desea medios de transportes públicos, un centro comercial y escuelas también próximas a la casa. Al final termina con una lista de seis objetivos OBLIGATORIOS y dieciocho DESEADOS, como se ilustra en la Tabla 6.1-1, página 136.

A continuación el directivo repasa estos objetivos DESEADOS y les adjudica sus pesos relativos utilizando la escala del 1 al 10, recibiendo el número 10 el DESEADO más importante. Conforme considera más detenidamente cada objetivo, modifica sus pesos preliminares hasta que ha logrado un conjunto de números — que representen la importancia relativa que le da a cada objetivo. Tiene mucho cuidado, en este punto del proceso, de contar con la opinión de su esposa y de otras personas afectadas por el cambio. El "pago mensual más bajo" le resulta lo más importante, y el "espacio para taller" y la "cocina grande," moderna, con vista", como lo menos importante, con un peso de 2 cada uno.

Habiendo establecido y clasificado sus objetivos de acuerdo con

OBJETIVOS OBLIGATORIOS : Límites de recurso y resultados requeridos

Pago inicial que no exceda los 125,000 pesos

Pagos mensuales (capital, interés, impuestos y seguro) que no excedan los 3,750 pesos

Mínimo de cuatro dormitorios

Mínimo de dos cuartos de baño

Ubicación fuera del centro, no excediendo de 45 minutos en automóvil hasta el estacionamiento de la oficina

Que se pueda ocupar dentro de 60 días

OBJETIVOS DESEADOS : Mejor utilización de recursos, máximo de resultados y ganancias, mínimo de desventajas

	Peso
Pago inicial mínimo - - - - -	6
Pago mensual mínimo - - - - -	10
Ubicación cercana al trabajo - - - - -	7
Poder utilizar el mobiliario actual - - - - -	5
Garaje para dos automóviles - - - - -	4
Transporte público cercano - - - - -	4
Ubicación cercana a escuelas primarias y secundarias - - - - -	8
Ubicación cercana a un centro comercial - - - - -	7

	Peso
Espacio disponible para taller y bodega - -	2
Valor de reventa estable - - - - - - - - - -	7
Atractiva, estilo y apariencia modernos - -	5
Jardines agradables; árboles, arbustos - -	4
Espacio amplio para juego de los niños - -	5
Cocina amplia, moderna con vista - - - - - -	2
Sala de estar amplia y cómoda - - - - - - -	3
Ubicada en calle tranquila en un buen vecin- dario -	4
Costo de mantenimiento mínimo - - - - - - -	7
Riesgos mínimos - aumento en los impuestos - o contribuciones especiales - - - - - - - -	4

Tabla 6.1-1 Una hoja de trabajo típica para establecer objetivos que contiene los OBLIGATORIOS y los DESEADOS, con anotación de los pesos apropiados, para el ejemplo de la compra de una casa.

su importancia, el directivo se entrevista entonces con un - vendedor de bienes raíces y le presenta su lista de OBLIGATORIOS Y DESEADOS. El vendedor tiene más de mil casas registradas, pero el conjunto de objetivos OBLIGATORIOS del directivo reduce el número de posibilidades a una fracción de lo que el agente tiene en cartera. Por ejemplo, puede eliminar de inmediato todas las casas que requieren un pago inicial de más de 125,000 Pesos o pagos mensuales de más de 3,750 Pesos ; las casas pequeñas de dos y tres dormitorios; las antiguas con un solo baño; las del centro de la ciudad; las que queden a más de cuarenta y cinco minutos del trabajo, y aquellas en que haya que esperar más de sesenta días para mudarse. Al establecer sus objetivos OBLIGATORIOS el directivo se ha ahorrado y ha ahorrado al vendedor de bienes raíces muchísimo tiempo y - dinero. Se da cuenta que, de la misma manera, en su trabajo - diario, podrá ahorrarles tiempo a sus subordinados y a sus proveedores, estableciendo claramente los objetivos que deben ser logrados.

El vendedor de bienes raíces, guiado por los objetivos del directivo, le presenta tres casas que han pasado los OBLIGATORIOS y que parecen satisfacer los DESEADOS. El directivo examina - cada una de las casas, repasando la lista de objetivos y comparando las características de cada casa frente a cada objetivo. Verifica primero los objetivos OBLIGATORIOS y encuentra que só-

lo dos de las tres casas pueden tomarse en consideración como alternativas posibles, puesto que la alternativa B requiere un pago mensual de 4,625 pesos que está por encima del límite de 3,750 pesos que se había fijado. Esta casa se había deslizado en la primera selección y ahora se marca NO PASA y se elimina por completo. En seguida el directivo prueba cada una de las dos casas restantes, punto por punto, contra los objetivos DESEADOS que ha establecido. Utilizando un escala del 1 al 10, las califica frente a cada uno de los dieciocho objetivos DESEADOS. A continuación multiplica estas calificaciones por el peso correspondiente que había asignado originalmente a cada objetivo. Esto le da una calificación sopesada final para cada casa, en cada uno de estos objetivos. Las calificaciones sopesadas totales para cada casa representan el desempeño de cada alternativa en relación a la importancia de cada uno de los objetivos considerados.

Los resultados de los cálculos del directivo se presentan en la hoja de trabajo de análisis de decisiones que se ilustra en la Tabla 6.1.2. Se verá que la calificación sopesada total de la casa A es de 804, en comparación con 848 para la casa C. Esto hace que la casa C sea la mejor elección de acuerdo con el criterio general del directivo. Podría no ser, por supuesto, la mejor elección para otro directivo cuyo criterio y experiencia hubieran podido producir una serie un tanto diferente de

HOJA DE TRABAJO PARA ANALISIS DE DECISIONES

OBLIGATORIOS		ALTERNATIVA A			ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C		
Pago inicial no mayor de \$ 125,000.00 Pago mensual no mayor de \$ 3,750.00 Mínimo de cuatro dormitorios. Mínimo de dos cuartos de baño. Ubicación, fuera del centro, a no más de 45 minutos en automóvil. Que se pueda ocupar dentro de 60 días.		\$ 93,750.00			\$ 118,750.00	NO PASA	\$ 75,000.00		
		\$ 3,750.00			\$ 4,625.00		\$ 3,500.00		
		4					4		
		2					2		
		30 minutos					25 minutos		
		45 días					45 días		
DESEADOS	peso		calif.	calif. sope-sada			calif.	calif. sope-sada	
Pago inicial mínimo	6	\$ 93,750.00	9	54			\$ 75,000.00	10	60
Pago mensual menor, incluyendo impuestos	10	\$ 3,750.00	9	90			\$ 3,500.00	10	100
Ubicación cercana al trabajo	7	bueno	10	70			bien	8	56
Usar muebles y cortinas actuales	5	bueno	8	40			muy bien	10	50
Garaje para dos automóviles	4	pórtico	7	28			garaje	10	40
Transporte público cercano	4	autobús	9	36			aut. cerca	10	40
Ubicación cercana a escuelas primaria y secundaria	8	1/2 km	7	56			1/4 km	10	80
Ubicación cercana a centro comercial tiendas	7	1 km	7	49			1/2 km	10	70
Espacio para talles y almacenaje	2	grande	10	20			deficiente	3	6
Valor de reventa estable	7	bueno	10	70			bueno	10	70
Atractiva apariencia y estilo modernos	5	bueno	8	40			excelente	10	50
Jardín agradable, árboles, arbustos	4	nuevo	10	40			bien	7	28
Amplio espacio de juego de los niños	5	sin cercar	7	35			cercado	10	50
Cocina amplia y moderna, con vistas	2	bueno	10	20			bueno	10	20
Sala de estar amplia y cómoda	3	sí	10	30			no	0	0
Ubicada en calle tranquila, con un buen vecindario	4	bueno	10	40			regular	8	32
Costo de mantenimiento mínimo	7	bueno	10	70			normal	8	56
Riesgos mínimos, aumento en los impuestos o contribuciones especiales	4	elevado	4	16			bajo	10	40
DESEMPEÑO TOTAL, OBJETIVOS DESEADOS				804			843		

TABLA 6.1.2

objetivos DESEADOS y de pesos relativos. Pero para este directivo los cálculos que aquí se presentan le ofrecieron una clara visión de lo que él había considerado de cómo había llegado a esta decisión preliminar y en dónde debía buscar ahora las consecuencias adversas.

A continuación el directivo empieza a buscar las consecuencias adversas que podrían surgir de su decisión inicial de comprar la casa C. Piensa acerca de los posibles trastornos y defectos de la casa que pudieran habersele escapado en su primera exploración. Vuelve a revisar las casas A y C y encuentra varias posibles consecuencias que le inquietan. Observa unas manchas en el sótano de la casa C que pudieran indicar que se inunda durante la época de lluvias. También se da cuenta de que la nueva construcción que se inicia anexa al centro comercial, significará, probablemente, un tránsito mayor de vehículos frente a la casa C, que está en una calle que conecta dos vías principales. A continuación piensa en la ubicación del club campestre situado al otro lado de la ciudad; tendrá que hacer uso de él con frecuencia para atender a sus clientes, y la perspectiva de atravesar la ciudad tantas veces no le agrada. Y mientras observa el jardín posterior de la casa C, comprende que no es lo suficientemente grande para satisfacer a su esposa que es una entusiasta de la jardinería.

Considera entonces las posibles consecuencias adversas de comprar la casa A y se entera que uno de sus empleados es propietario de la casa de enfrente. Esto podría significar relaciones sociales incómodas para él, puesto que no es partidario de alternar con sus subordinados y este hombre tiende a ser agresivamente social. Recuerda también que su esposa le ha dicho que en ese vecindario hay pocos niños de la misma edad de sus hijos y sabe que eso podría crear descontento en su casa.

Anota todas estas posibles consecuencias adversas en un papel y las califica de acuerdo con sus cálculos sobre la probabilidad de que ocurran y de su gravedad, si llegaran a ocurrir. Multiplica estas dos calificaciones para cada consecuencia, - las suma y descubre que al equilibrar los factores, la casa A que le ofrecía menos de lo que deseaba, no encierra la grave amenaza de consecuencias adversas que encierra la casa C. La hoja de trabajo que muestra sus cálculos aparece en la Tabla 6.1.3.

El directivo, por lo tanto, compró a su debido tiempo la casa A y más tarde se sintió feliz con su elección. El invierno siguiente fué uno de los más lluviosos y la persona que compró la casa C tuvo, entre otros contratiempos, 25 centímetros de agua en el sótano.

Nótese que, al elegir la casa A, el directivo sabía por qué y

HOJA DE TRABAJO PARA POSIBLES CONSECUENCIAS ADVERSAS

Alternativa A				Alternativa C			
	Probabilidad	Gravedad	P X G		Probabilidad	Gravedad	P X G
Situación social embarazosa, subordinado vive enfrente	8	4	32	Riesgo de inundaciones en el sótano, reparaciones - de consideración.	9	9	81
Pocos compañeros de juegos para los niños en el vecindario	7	7	49	Mucho tráfico debido a la proximidad del centro comercial	5	9	45
				Inconvenientes del club campestre al otro lado de la ciudad.	9	9	81
				Escaso terreno para que su esposa practique jardinería	9	10	90
			81				297

Tabla 6.1-3. Una típica hoja de trabajo de consecuencias adversas que contiene las posibles consecuencias, calificadas de acuerdo con la probabilidad y gravedad, para las dos alternativas en el ejemplo de la compra de una casa.

sobre qué bases lo estaba haciendo. No utilizó el enfoque del "contrapeso" que utilizan algunos directivos en la toma de decisiones. Bajo este enfoque, se supone que una ventaja contrarresta o anula una desventaja de tal modo que las cosas se equilibran. Pero no es así. Si una alternativa lleva aparejada una desventaja, ésta no se elimina al encontrar una ventaja. Una vez tomada la decisión, habrá que soportar la desventaja hasta que elimine mediante una acción correctiva de algún género. La única forma segura de enfrentarse con las desventajas en la toma de decisiones es reconocerlas y mantenerlas visibles ante uno a lo largo del proceso. Pueden tomarse entonces una decisión final o un curso de acción con pleno conocimiento de las desventajas, en lugar de tratar de disimular los defectos y ocultarlos. Constituye una verdadera ventaja en sí misma el disponer en forma visible de todas las evaluaciones que entran en una decisión, ya que, en ese caso, se puede fácilmente volver a examinar los juicios formados y considerar las acciones correctivas que pudieran tomarse para mejorar una alternativa buena ya de por sí.

Algunos directivos podrán dudar que sea necesario pasar tan cuidadosa y específicamente por todas estas etapas de la toma de decisiones. Por supuesto, muchas de las decisiones a las que se enfrenta un directivo en sus operaciones diarias, implican elecciones más bien sencillas y relativamente poca in-

formación. Puede establecer los objetivos, asignarles pesos según su importancia; considerar y evaluar las alternativas, y hacer todo esto mentalmente con bastante rapidez. Si el proceso de decisiones es sencillo, no tendrá necesidad de un esquema complicado para llegar a sus conclusiones, y así es como debe ser. Pero siempre que el directivo sienta que existe una probabilidad de confusión, de perder de vista un juicio en alguna parte del proceso, o de omitir algo, deberá adoptar una enfoque a prueba de fallas y por lo menos garrapear en un papel lo que está pensando. En cualquier momento podrá volver sobre sus pasos y corregir o mejorar algo que haya escrito, pero no podrá hacerlo si trata de mantener en la cabeza toda la información importante.

Un registro sistemático de la información sobre problemas y decisiones es especialmente útil en las reuniones. Cada vez que un grupo de directivos tenga que conferenciar sobre tales asuntos, resultan muy importantes dos cosas: la recuperación de la información y la combinación de los juicios. Para llegar a una decisión los directivos no sólo necesitan almacenar la información, sino que necesitan igualmente tener fácil acceso a ella y acumular sus juicios sobre acciones alternativas.

Resulta claro que cada decisión que se tome será una transacción en una forma u otra que equilibre las ventajas frente a las des

ventajas, haciendo un trueque de este objetivo por aquél, aceptando los logros parciales cuando no sea posible alcanzar la meta total. El directivo deberá llegar a la mejor transacción posible, aquella que le ofrezca resultados máximos al menor costo. A fin de lograrlo, tiene que hacer el mejor uso posible de la información y esto requiere un conjunto de procedimientos ordenados y disciplinados para trabajar con los datos y mantenerlos siempre a su disposición. Los métodos que se esbozan en este capítulo no garantizan una toma de decisiones plena de éxito, sencillamente porque gran parte de lo que integra la toma de decisiones es incierto y trata de probabilidades futuras. Por eso es de primordial importancia que el directivo haga todo lo que esté a su alcance para asegurar la óptima utilización de la información que posee. En esta forma es mucho más probable que acierte la mayoría de las veces. Aún cuando sólo logrará reducir esa incertidumbre por un pequeño margen al seguir un enfoque sistemático, puede haber ganado muchísimo.

Según se indicó anteriormente, una de las formas más efectivas de asegurar el éxito en una decisión de importancia, consiste en prever y prevenir aquellas consecuencias adversas que tal decisión a menudo produce. El directivo puede hacerlo analizando esos problemas antes de que se desarrollen. En realidad, el análisis sistemático de los problemas en potencia constituye el mejor medio, no sólo de lograr que tengan éxito las decisiones

pasadas, sino de hacer más fáciles y menos frecuentes las decisiones futuras.

6.2.- Tabla de resultados de la comparación.

En los capítulos II y III se describieron en detalle los convertidores con insuflado de oxígeno por arriba (Proceso BOF) y los convertidores con inyección de oxígeno por el fondo - (procesos LWS, OBM y Q-BOP). Pero la información presentada, estaba aislada; por lo que fué necesario elaborar en el capítulo V, unas tablas comparativas de los procesos de aceración. Posteriormente en este capítulo VI, se expuso el método de análisis de procesos, dando un ejemplo ilustrativo de la selección de una casa.

A continuación aparecen las tablas de los resultados de la comparación entre los procesos BOF, LWS y OBM (o Q-BOP).

En la tabla 6T-1, aparece el número de primeros, segundos y - terceros lugares de cada proceso correspondientes a la prioridad asignada a cada parámetro de cada proceso, obtenidos de la tabla comparativa T5.2-2 de la página 117.

Después de observar con detenimiento esta tabla, es difícil - decidir cual es la mejor alternativa o proceso, por lo que será necesario evaluar en forma numérica cada alternativa.

Nosotros sabemos que la prioridad 1, fué asignada a la alternativa que más se acercaba a lo deseado, por lo que la prioridad 3, corresponde a lo que más se aleja de lo deseado.

TABLA 6T-1

TABLA DE RESULTADOS DE LA EVALUACION:

	BOF	LWS	OBM	No. DE LUGARES.
1.- PROCESO METALURGICO	0	1	7	1os.
	0	7	1	2os.
	8	0	0	3os.
2.- CONSUMOS	3	1	2	1os.
	0	2	4	2os.
	3	3	0	3os.
3.- FACILIDAD DE OPERACION	3	0	1	1os.
	0	2	2	2os.
	1	2	1	3os.
4.- INSTALACIONES REQUERIDAS	3	0	4	1os.
	0	4	3	2os.
	4	3	0	3os.
5.- FACTORES INTANGIBLES	6	0	0	1os.
	0	2	4	2os.
	0	4	2	3os.
EVALUACION TECNICA FINAL:	15	2	14	1os.
	0	17	14	2os.
	16	12	3	3os.

Por lo tanto si multiplicamos por 1.0 al número de primeros lugares, por 2.0 a los segundos y por 3.0 a los terceros; obtendremos números enteros, que podremos sumar hasta obtener un resultado o resúmen de la evaluación técnica :

En la Tabla 6T-2 aparece la Evaluación Final.

Se puede observar que los valores numéricos obtenidos, dan una medida comparativa entre los procesos. También es importante considerar , que el número menor corresponde a la alternativa con las mejores características.

El proceso con las mejores características técnicas es el OBM, le sigue el proceso BOF y finalmente el proceso LWS.

Se podría tomar como definitivo este resultado, pero hay que tomar en cuenta que no se está considerando la importancia de cada parámetro dentro del proceso y esto trae como consecuencia, la posibilidad de estar influenciado por lo que se desea, en un sentido ideal y no por la realidad. Es por esta razón , que se debe emplear un método más adecuado; como el expuesto en el subcapítulo 6.1, de la página 131.

En la tabla T5.3-1, de la página 124, se observa que se la asignaron los pesos y calificaciones adecuadas a cada parámetro empleando el sistema de A.D. (Ref. B30).

TABLA 6T-2

SINTESIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACION:

	BOF	LWS	OBM
1.- PROCESO METALURGICO	24	15	9
2.- CONSUMOS	12	14	10
3.- FACILIDAD DE OPERACION	6	10	8
4.- INSTALACIONES REQUERIDAS	15	17	10
5.- FACTORES INTANGIBLES	6	16	14
EVALUACION TECNICA FINAL:	63	72	51

RESUMEN DE LA EVALUACION TECNICA:

	PRIMER LUGAR	SEGUNDO LUGAR	TERCER LUGAR
1.- PROCESO METALURGICO	OBM	LWS	BOF
2.- CONSUMOS	OBM	BOF	LWS
3.- FACILIDAD DE OPERACION	BOF	OBM	LWS
4.- INSTALACIONES REQUERIDAS	OBM	BOF	LWS
5.- FACTORES INTANGIBLES	BOF	OBM	LWS
EVALUACION TECNICA FINAL:	OBM	BOF	LWS

A continuación en la tabla 6T-3 se encuentran los resultados de la evaluación y un resumen de la evaluación técnica final.

Es importante hacer notar que los resultados obtenidos en la tabla 6T-2 y 6T-3 son muy semejantes, con la diferencia de que el método seguido fué totalmente diferente, empleandose para la -- tabla 6T-2 datos específicos de operación, en cambio para la tabla 6T-3 se usaron rangos de operación, siendo esto lo más adecuado para el caso de análisis de procesos, sujetos a diferen--tes condiciones de operación.

El proceso más adecuado es el proceso BOF, considerando las condiciones actuales de operación, y las facilidades de su adapta--ción en México.

El proceso con mejores características técnicas y resultados metalúrgicos obtenibles es el proceso OBM, pero se tiene la des--ventaja de ser un proceso nuevo que aún tiene problemas poten--ciales en su operac ión y la experiencia de operación en instalalaciones industriales es limitada, por lo que podemos concluir -- que el proceso BOF, es el más adecuado para las condiciones de--operación factibles de adaptar en México.

Es importante seguir de cerca los avances de los convertidores--con inyección de oxígeno por el fondo.

TABLA 6T-3

TABLA DE RESULTADOS DE LA EVALUACION

	BOF	LWS	OBM
1.- PROCESO METALURGICO	407	634	764
2.- CONSUMOS	1317	1309	1332
3.- FACILIDAD DE OPERACION	858	666	806
4.- ACEPTACION DEL PROCESO	690	237	307
T O T A L :	3272	2846	3209

RESUMEN DE LA EVALUACION TECNICA

	PRIMER LUGAR	SEGUNDO LUGAR	TERCER LUGAR
1.- PROCESO METALURGICO	OBM	LWS	BOF
2.- CONSUMOS	OBM	BOF	LWS
3.- FACILIDAD DE OPERACION	BOF	OBM	LWS
4.- ACEPTACION DEL PROCESO	BOF	OBM	LWS
EVALUACION TECNICA FINAL	BOF	OBM	LWS

El factor que influyó en el resultado de este estudio, es la falta de información de los procesos con inyección de oxígeno por el fondo, por lo que es recomendable que si alguna -- empresa siderúrgica nacional está interesada en la actualización de sus procesos, someta a concurso internacional a los proveedores y licenciatarios de ambos procesos, con objeto - de poder evaluar la información que envíen mediante el Método expuesto en esta Tesis.

En el capítulo siguiente se presenta la comparación económica (Capítulo VII), y finalmente en el capítulo VIII están las conclusiones finales de este estudio.

CAPITULO VII

EVALUACION ECONOMICA :

Después de haber hecho el estudio de las características técnicas de los procesos, es necesario hacer una comparación de los costos de capital requeridos para la inversión inicial de una acería con convertidores BOF, LWS Y OBM (Q-BOP).

En la tabla 7T-1, se calcularon los costos unitarios de producción de acero en convertidores BOF, LWS Y OBM (Q-BOP), que nos servirán para la evaluación económica.

En la tabla 7T-2, se presentan los costos de inversión de una planta de aceración con la instalación de convertidores BOF, LWS Y -- OBM (Q-BOP).

En el caso de los convertidores BOF, se dispone de la información presentada por tres proveedores del proceso. Esto se hizo con el objeto de poder comparar la información proveniente de diferentes países.

Para la determinación del costo unitario del monto de inversión, -- fué necesario calcular el equivalente anual futuro de la inversión, considerando que la tasa de rentabilidad anual (también llamada -- tasa de recuperación ó de retorno) es del 15% y que el lapso ó de

COSTOS DE PRODUCCION DE ACERO EN CONVERTIDORES:

Costo de los consumibles por tonelada de acero producido - \$ M. N./unidad de Insumo.	PROCESO BOF		PROCESO LWS		PROCESO OBM	
	Toneladas	\$ M.N.	Toneladas	\$ M.N.	Toneladas	\$ M.N
0.01375/M ² de Oxígeno	65,0000	0.89	57,5000	0.79	64.9000	0.89
6.79625/Ton.de Cal en Piedra	0.0966	0.66	0.0240	0.16	0.0050	0.03
49.12500/Ton.de Cal en Plomo	. ....	. ...	0.0560	2.75	0.0900	4.42
180.00000/M ³ de Gas Propano	. ....	. ...	. ....	. ..	5.1900	934.20
250.00000/Ton. de Combustóleo	. ....	. ...	0.00225	0.56	. ....	... ..
12.50000/Ton. de Refractario	0.0100	0.13	0.0045	0.06	0.0050	0.06
552.26750/Ton. de Arrabio(L)	0.90433	499.43	0.8940	493.73	0.8330	460.04
(S)	0.04600	25.40			0.0290	16.02
1,750.00000/Ton. de Chatarra	0.1340	234.50	0.1600	280.00	0.2510	439.25
4,137.50000/Ton. de Ferromanganeso	0.0030	12.41	0.0050	20.69	0.0090	37.24
5,383.75000/Ton. de Ferrosilicio	0.0020	10.77	0.0025	13.46	0.0010	5.38
18,425,00000/Ton.de Aluminio	0.0020	36.85	0.0020	36.85	0.0020	36.85
66.44000/Ton. de Pellet	0.0270	1.79	0.0538	3.57	0.0550	3.65
890.00000/Ton. de Espato-Fluor	0.0050	4.45	0.0050	4.45	0.0130	11.57
0.16500/Kw-Hr.	40.0000	6.60	38.0000	6.27	36.2000	5.97
COSTO DE PRODUCCION:		833.89		863.34		1,955.58
\$ M. N. POR TONELADA		=====		=====		=====

-156-

TABLA 7T-1

	BOF	BOF	BOF	LWS	OBM(Q-BOP)	
CAPACIDAD NORMAL DEL CONVERTIDOR TONELADAS	110	110	110	125	150	
PRODUCCION ANUAL TON/AÑO	1,100,000	1,100,000	1,100,000	1,250,000	1,500,000	
1.- 2 Convertidores incluyendo fondos y mecanismos Instalaciones de la Lanza.	1,176,771 675,479	1,253,953 530,690	1,346,784 1,105,966	13,050,000	3,043,000	
2.- Planta calcinadora y pulverizadora de cal. Sistema de manejo, almacenamiento de inyección de cal	13,704,679	15,274,339	19,273,206		3,600,000 1,625,000	
3.-Sistema depurador de gases.	3,782,826	3,593,898	3,460,651		4,228,000	
4.- Equipos de carga de chatarra.	502,851	612,122	654,512		800,000	
5.- Gruas.	77,959	254,602	152,854	4,500,000	1,067,000	
6.- Equipo mobil (carros transportadores, ollas para acero y ollas para escoria).	846,710	905,436	1,036,706		202,000	
7.- Instrumentación y tuberías.	850,025	867,721	1,274,718		1,463,000	
8.- Equipo Eléctrico.	725,284	848,105	1,667,743		2,979,000	
9.- Excavación para cimentación.					487,000	
10.- Edificio y cimentación.	2,845,550	3,988,942	5,275,869	9,300,000	4,940,000	
11.- Equipos Auxiliares:				3,600,000	3,560,000	
Equipo de carga de arrabio.	319,200	465,800	472,644			
Equipo para adiciones al convertidor.	458,874	610,838	448,348			
Equipo para adiciones a la olla.	29,464	74,416	74,948			
Equipo para reparaciones del convertidor.	135,952	120,048	164,330			
Equipo para la agitación gaseosa.	17,490	20,303	35,226			
Refractarios	237,737	348,064	378,766			
Sistema de comunicación.	21,413	38,033	29,363			
Planta de oxígeno.	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	
Servicios.	824,655	238,120	1,255,664			
12.- Computadora y Laboratorio	138,410 38,029	454,083 49,155	398,764 39,350		405,625	
13.- Ingeniería, Diseño y Supervisión.				1,350,000	2,347,000	
14.- Derechos por uso de licencia y asesoría técnica.					1,406,000	
T O T A L :	\$ (U. S. DOLLARS).	31,409,358	34,548,668	42,546,412	35,800,000	36,152,625
NOMBRE DEL LICENCIATARIO	ITALIMPIANTI	VOEST	DAVY ASHMORES.	CREUSOT-LOIRE	U.S. MAXTECH	
PAIS PROVEDOR	ITALIA	AUSTRIA	INGLATERRA	FRANCIA	ESTADOS UNIDOS	
T O T A L :	\$ (PESOS MEXICANOS).	392,616,975	431,858,350	531,830,150	447,500,000	451,907,812

-157-

TABLA 7T-2

preciación ó vida del equipo es de 15 años.

En la instalación de cada equipo, se requiere de un período de aprendizaje, que está en función del tiempo y de la producción obtenible en cada período considerado. Si la producción total-anual se alcanza rápidamente, la ecuación para calcular la serie de anualidades será la siguiente : (Ref. B 35)

$$SA = I \left[\frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Donde :

I = Inversión inicial (\$ pesos mexicanos)

i = Tasa de recuperación. (%)

n = Años de depreciación.

Por lo tanto :

$$SA = I \left[\frac{0.15 (1+0.15)^{15}}{(1+0.15)^{15} - 1} \right]$$

$$SA = I \left(\frac{1.22}{7.14} \right)$$

SERIE DE
ANUALIDADES= I (0.17101705)

El costo unitario por tonelada se calcula :

$$CU = \frac{SA}{PA}$$

Donde :

CU = Costo Unitario $\frac{\$ \text{ Pesos Mexicanos}}{\text{Tonelada Producida}}$

SA = Serie de Anualidades $\frac{\$ \text{ Pesos Mexicanos}}{\text{Año}}$

PA = Producción Anual $\frac{\text{Toneladas Producidas}}{\text{Año}}$

En la tabla 7T-3, se presentan los cálculos de la evaluación económica final, que se obtiene mediante la suma de los costos unitarios por insumos y los costos unitarios por la serie de anualidades.

EVALUACION TECNICA FINAL :

		BOF	BOF	BOF	LWS	OBM
		ITALIMPIANTI	VOEST	DAVY-ASHMORES		Q-BOP
1	INVERSION INICIAL (\$, PESOS MEXICANOS)	392,616,975.00	431,858,350.00	531,830,150.00	447,500,000.00	451,907,812.00
2	SERIE DE ANUALIDADES (\$, PESOS MEX./AÑO)	67,144,197.90	73,855,142.20	90,952,024.79	76,530.131.08	77,283,942.10
3	PRODUCCION ANUAL (TONELAS/ AÑO)	1,100,000.00	1,100,000.00	1,100,000.00	1,250,000.00	1,500,000.00
4	$\frac{SA}{PA} = \frac{\$ M. N.}{TONELAS}$	61.04	67.14	82.68	61.22	51.52
5	COSTO UNITARIO POR SERIES DE	61.04	67.14	82.68	61.22	51.52
6	COSTO UNITARIO POR INSUMOS	833.89	833.89	833.89	863.34	1,955.58
COSTO UNIDAD TOTAL						
	\$ M.N./ TONELADA.	894.93	901.03	916.57	924.56	2,007.10

TABLA 7T-3

CAPITULO VIII

Conclusiones y Recomendaciones :

Como resultado de las comparaciones hechas en las tablas presentadas en los capítulos anteriores, es posible concluir que, en general, los procesos de insuflado por el fondo, tienen las siguientes ventajas sobre el proceso BOF :

- 1.) Existe un control mucho más preciso sobre las reacciones de oxidación durante el soplado.
- 2.) Se reducen considerablemente las pérdidas de metal en la escoria.
- 3.) La eficiencia metálica del proceso es superior.
- 4.) La desulfurización y la desfosforización son mucho más efectivas.
- 5.) Los tiempos de soplo son menores.
- 6.) La agitación del baño de metal es más eficiente.
- 7.) La escoria tienen una consistencia seca y dura. Este hecho incrementa el volumen aprovechable del convertidor.

- 8.) Es posible cargar hasta un 35% de chatarra.
- 9.) La reactividad entre la escoria y el refractario se reduce considerablemente.
- 10.) Hay una menor cantidad de polvos de óxidos de hierro en los humos.
- 11.) El consumo de refractario es menor en las paredes del convertidor.
- 12.) El tener un control más preciso sobre las reacciones de oxidación, reduce apreciablemente el número de coladas que requieren resoplado.
- 13.) La mejor eficiencia del proceso reduce los consumos de ferromanganeso.
- 14.) La misma producción puede alcanzarse con convertidores de menor capacidad.
- 15.) Se eliminan las instalaciones de la lanza y por tanto, se presenta un ahorro considerable en el edificio de aceración.

De igual manera, éstos sistemas presentan las siguientes desventajas:

- 1.) Cuando se usa arrabio con un alto contenido en fósforo, la concentración de nitrógeno se eleva más allá de los niveles permitidos.
- 2.) Puede haber un mayor consumo de chatarra.
- 3.) Se agregan dentro de los insumos generales, el consumo de gas propano o combustóleo.
- 4.) La cantidad de oxígeno consumida por tonelada de acero aumenta.
- 5.) El sistema neumático de inyección de cal y gases es complejo en cuanto a la operación y al mantenimiento se refiere.
- 6.) La preparación especial de la cal eleva los costos de inversión inicial y operación.
- 7.) Solo se cuenta con 4 años de experiencia en la operación del proceso de inyección por el fondo.
- 8.) La instrumentación para el control del proceso es mayor y más sofisticada.
- 9.) La operación del convertidor es en general más complicada.

10.) La vida de los fondos, incluyendo las toberas, es en la actualidad menor que la vida del refractario del convertidor BOF. Esto reduce la duración de cada campaña de convertidores.

11.) La preparación de los fondos puede requerir de equipo especial y obreros altamente calificados.

Como se puede apreciar, algunas de las principales desventajas son debidas a lo novedoso del proceso y por lo tanto a la poca experiencia que hasta ahora se tiene acumulada.

Se encuentra en estudio por parte de las compañías que desarrollaron el proceso, la posibilidad de usar Argon en el purgado de las toberas, así como la de aumentar la vida promedio de los fondos.

Por lo que respecta a la Evaluación Económica, el Proceso BOF resultó ser el más económico.

RECOMENDACIONES :

La evaluación actual de los resultados presentados en las tablas comparativas, permiten llegar a las siguientes recomendaciones, para las Siderúrgicas Nacionales que afrontan este problema :

- 1.- Por lo que a las características metalúrgicas del proceso se refiere, el sistema de soplado por el fondo es altamente recomendable, por su mayor eficiencia y por la superioridad en la calidad del acero producido.
- 2.- Por lo que respecta a la operación y mantenimiento, el sistema BOF es el más recomendable, ya que es más conocido; se cuenta con mayor experiencia; se requieren equipos menos complejos, así como de operadores menos calificados.

Como se puede observar, estas características resultan ser de gran importancia, por lo tanto se concluye, que en la actualidad este sistema resulta ser el más adecuado.

Sin embargo, es necesario hacer notar, que hasta el momento, los Procesos LWS , OBM (o Q-BOP), se encuentran en desarrollo y tanto la información técnica como los costos, pueden tener cambios o modificaciones. Es por ello que se recomienda que, con el fin de tener una ac

tualización de esta Evaluación Técnico-Económica en un futuro, se proceda a :

- 1.- Estudiar en forma experimental algunos de los aspectos científicos de la Fisico-Química del proceso de insuflado de oxígeno; con objeto de poder incrementar los desarrollos tecnológicos del proceso.
- 2.- Que en las Empresas Siderúrgicas Nacionales, se desarrollen o experimenten las nuevas tecnologías, tomando como base la información disponible y el potencial humano con que cuente.
- 3.- En caso de ser necesario, someter a Concurso Internacional los procesos de aceración en convertidores con soplado de oxígeno por arriba (Proceso BOF) y a los convertidores con inyección de oxígeno por el fondo (Procesos LWS, OBM y Q-BOP).
- 4.- Evaluar la información enviada por cada proveedor desde los puntos de vista Técnico y Económico, seleccionando el proceso con las mejores características y ventajas - Técnicas, además de la mejor oferta o cotización.

En caso de tener que comprar la Tecnología Extranjera, seguir las negociaciones, según el procedimiento del -
Apendice A-3.

De esta manera se podrá tener una imagen actualizada , de las ventajas y desventajas, que desde cualquier punto de -

vista se tendrían al instalar en México una acería con
Convertidores al Oxígeno.

B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA :

PROCESO BOF :

- B1 Joseph K. Stone
 LD Process Newsletter
 Kaiser Engineers
 Chicago, Illinois
 Newsletter No. 67
 January 20, 1975.
- B2 H. W. Genrell and D. J. Bowen
 BOF Blow Control by Furnace Weight
 Journal of Metals
 July 1974, Page 17-24
- B3 Frank W. Dittman
 Operating Cost Optimization of the LD Process
 Journal of Metals
 November 1966, Page 1209-1214
- B4 G. W. Perbix
 Basic Oxygen Furnace Hot Model Studies
 Journal of Metals
 July 1966, Page 824-831

- B5 Joseph K. Stone
 LD Basic Oxygen Steelmaking
 Journal of Metals
 August 1963, Page 581 - 584
- B6 A. Leslie Miller
 Progress in Oxygen Steelmaking BOF and Bottom
 Blowing
 Seminar on New Steel Technology
 U. S. Trade Center, Mexico City
 October 4, 1972.
- B7 Oxygen Converter Operating Data
 Third Roud Inquiry, 1971.
 International Iron and Steel Institute
 Belgium

PROCESO LWS :

- B8 M. Maubon, M. Nauroy
 LWS Process Bottom Blown Converter
 Creusot - Loire - Entreprises
 Mars, 1975.

- B9 A. MauvOn and E. Bonnavre
Technical and Economical Data for the Transformation
of an Open Hearth Steel Plant into a LWS Bottom --
Blown Converter Plant.
Creusot - Loire - Entreprises Siderurgie
Ilafa, October 1974.
- B10 Pierre J. Leroy
Pure Oxygen Bottom Blowing by the LWS Process.
Creusot - Loire
January 1974.
- B11 Pierre J. Leroy
Soplado con Oxígeno por el Fondo según el Procedimiento
LWS.
Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero
Belo Horizonte, Brasil
Seminario Latinoamericano sobre Tecnología en la Fa-
bricación del Acero.
30 de Octubre al 2 de Noviembre de 1972.
- B12 Pierre J. Leroy
Oxygen Bottom Blowing by the LWS Process

AISE, Pittsburgh, PA, U. S. A.

September 27, 1972.

PROCESO OBM, Q-BOP:

- B14 Dr. Brotzmann
 The Bottom - Blown Oxigen Converter
 Iron and Steel Institute
 Munich, October 15, 1974.
- B15 P. Nilles and M. Boudin
 Oxygen Steelmaking in Bottom-Blown Converters
 Quarterly, No. 1, 1974 Page 22-27
- B16 A. H. Brisse
 The Development of The Q-BOP Process in United
 States Steel Corporation
 1974
- B17 A. Chatterjee
 The New Oxygen Steelmaking Process
 Iron and Steel International
 October 1973, Page 440 - 448
- B18 L.T. Roberts
 W. S. Atkins & Partners
 Letter to Mr. F. S. Powalowski
 January 1973.

- B19 Paul E. Nilles
Steelmaking by Oxygen Bottom Blowing
1972 AISE Annual Conversion
September 1972.
- B20 Bottom - Blown Processes Now Number Three;
Q-BOP, LWS and SIP
33 Magazine, September 1972 Page 34 - 38
- B21 Q-BOP: From Blow to Go in 90 days
Journal of Metals
March 1972, Page 31 - 37
- B22 New Processes for Blowing Pure Oxygen into
Steelmaking Converters.
Short Notes, Page 43 - 44
March 1972, C.R.M. No. 30
- B23 U. S. Steel Corporation's new Steelmaking -
Process Steel Times
March 1972, Page 322
- B24 Bottom - Blown Converters Slated for Fairfield
Works Iron and Steel Engineer
January 1972, Page 89
- B25 Q-BOP: The new Big Hopper in Steelmaking Iron Age

December 23, 1971, Page 28

- B26 The OBM Process
Metal Bulletin
Tuesday, June 29, 1971; Page 32
- B27 U. S. Steel's "Q-BOP"
Metal Bulletin
Tuesday, December 21, 1971, Page 34
- B28 Dr. Ing. K. Brotzmann
The Bottom Blown Oxygen Converter
Technik und Forschung No. 172, 1968; Page 718 - 720
Translated by: G. A. Macdonald

INFORMACION ADICIONAL

- B29 Ing. Ernesto Beyer
Fabricación de acero por el proceso Alto Horno
Convertidor de Oxígeno
Agosto, 1974.
Instituto Mexicano del Hierro y del Acero
- B30 Charles A. Kepner
Benjamín B. Tregoe
El Directivo Racional
Enfoque sistemático a la resolución de problemas y

la toma de decisiones.

Edit. Mc. Graw-Hill, 1965

B31 PROCESOS FISICO-QUIMICOS EN LA REFINACION DEL ACERO.

E. T. Turkdogan

Manager of the Chemical Metallurgy U.S. Steel Co.

Research Laboratory

Monroeville, Pa., U. S. A.

1975

B31.1 E. T. Turkdogan

"Physical Chemistry of Oxygen Steelmaking, Thermo-chemistry and Thermodynamics"

Monograph Series on Basic Oxygen Steelmaking, AIME
Vol. 2 (In Press)

B31.2 K. Balajiva, A.G. Quarrel and P. Vajragupta

"A Laboratory Investigation of the Phosphorus
Reaction in Basic Steelmaking Process"

Journal of Iron and Steel Institute, 153;
1946

Page 115 - 150

B31.3 K. Balajiva and P. Vajragupta

"The Effect of Temperature on the Phosphorus
Reaction in the Basic Steelmaking Process"

Journal of Iron and Steel Institute, 155

1946

Page 563 - 567

B31.4

E. T. Turkdogan and J. Pearson

"Reaction Equilibria Between Metal and Slag in
Acid and Basic Open-Hearth Steelmaking"

Journal of Iron and Steel Institute, 176

1954

Page 59 - 63

B31.5

A. Decker, R. Sevrin and R. Scimar

"Some Physicochemical Aspects of the Top Blowing
Process"

Open-Hearth Proceedings, AIME, 145

1962

Page 421 - 470

B31.6

E. T. Turkdogan, P. Grieveson and L. S. Darken

"Enhancement of Diffusion Limited Rates of
Vaporization of Metals"

Journal of Physical Chemistry, 67

1963

Page 1647 - 1654

B31.7

E. T. Turkdogan, P. Grieveson and L. S. Darken

"Mechanism of the Formation of Iron Oxide Fumes"

Open-Hearth Proceedings, AIME, 45

1962

Page 470 - 490

B31.8

E. T. Turkdogan

"Reflections on Research in Pyrometallurgy and
Metallurgical Chemical Engineering"

Trans. Institute of Mining and Metallurgy, 83

1974

Page C67 - C82

B31.9

W. A. Fisher and M. Darenbach

Arch. Eisenhüttenwesen, 35

1964

Page 391 - 399

B31.10

G. J. W. Kor and E. T. Turkdogan

Submitted for Publication in Metall. Trans. B.

B31.11

R. J. Fruehan

"Rates of Several Gas-Metal Reactions in the Q-BOP"

Journal of Metals (In Press)

B32

Harold E. Mc Gannon

The Making, Shaping and Treating of Steel

United States Steel Corporation

Ninth edition, Pittsburgh, Pennsylvania
December, 1970

B33 Continuous Casting Machines for Steel
 Concast, 1973
 CH - 8027 Zurich/Switzerland

B34 Jai Pearce
 Q-BOP Steelmaking Developments
 Pennsylvania Engineering Corporation
 Pittsburgh, Pa., U. S. A.
 Iron and Steel Engineer
 February 1975
 Page 29 - 38

B35 George A. Taylor
 Managerial and Engineering Economy
 Edit. Van Nostrand Reinhold Company
 1964

- E1 Curso de "Análisis de Problemas y la Toma de
Desiciones."
Kepner - Tregoe
Lugar: Hotel "La Mansión"
 Km. 172 Autopista México-Queretaro
Duración: 31 de marzo al 4 de abril de 1975.
- V1 Visita a "Altos Hornos de México, S. A." (AHMSA)
Lugar: Monclova, Coahuila.
 Departamento de Aceración
 Taller BOF
Duración: 6 al 8 de marzo de 1975.
- V2 Visita a "Fundidora de Monterrey, S. A."
Lugar: Monterrey, Nuevo Leon.
 Departamento de Aceración II
Duración : 27 de junio de 1975.

APENDICE A-1

SECUENCIA TIPICA DE OPERACION DE UN CONVERTIDOR BOF

ACTIVIDADES :	TIEMPOS -- POR OPERACION	MINUTOS ACUMULATIVO
1.- Vaciar el convertidor y colocarlo en posición de recibir la chatarra.	0.40	0.40
2.- Verter chatarra al convertidor	2.30	2.70
3.- Bascular el convertidor para acumular chatarra en el fondo y resituarlo en posición de recibir - - arrabio	0.50	3.20
4.- Cargar arrabio liquido	2.00	5.20
5.- Volver convertidor a posición vertical. Bajar lanza oxígeno hasta un metro del espejo. Arrancar reloj medidor y comenzar soplado del oxígeno.- Agregar la mitad de la cal.	1.20	6.40
6.- A los 3 minutos de soplo agregar segunda mitad de la cal. A partir de los 12 minutos de iniciado el soplo-agregar 25%, a los 14 minutos, 25% - a los 16 minutos 25% y a los 18 minutos los 25% restantes del mineral	22.50	28.90
7.- Bascular el convertidor hasta posición horizontal tomar muestras de escoria y metal, medir temperatura, Posicionar ollas para acero y escoria	3.50	33.40
8.- Girar el convertidor a posición de collar.	1.20	34.60
9.- Sangrar acero en la olla. Agregar ferroligas.	2.60	37.20
10.- Invertir convertidor para vaciar escoria.	2.00	39.20
11.- Varios y demoras	5.80	45.00

APENDICE A-2

CONSUMOS Y PROMEDIOS DE OPERACION EN 1974 DE LOS CONVERTIDORES
BOF EN AHMSA, MONCLOVA, MEXICO.

Arrabio (ton)	582,769.113
Chatarra (ton)	159.453.025
Mineral (ton)	4.469.514
Cal Siderúrgica (ton)	25.337.568
Cal dolomítica (ton)	47.058.402
Fluorita (ton)	2.375.600
Fe - Mn (Ton)	6.601.942
Fe - Si (Ton)	709.794
Aluminio (ton)	147.362
Carbo - Coke (ton)	827.452
Na ₂ CO ₃ (ton)	2.484.095
Oxígeno (mts ³)	38,577.462.00
(mts ³ /ton)	58.67
Producción bruta (ton)	657,702.457
Rendimiento metálico del convertidor (%)	88.2
Tiempo promedio de colada a colada	1:36
Promedio de tons/colada	81.5
Número de vaciadas/año	6.918.0
Producción anual (ton) de producto terminado	563.817.0

APENDICE A-3

Procedimiento Legal :

- 1.- Una vez seleccionado el proveedor, se deberá continuar las negociaciones legales para el pedido; para lo cual, se deberá firmar un contrato con la Empresa Licenciante.
- 2.- Antes de proseguir con las negociaciones, el contrato deberá ser registrado en la Secretaria de Industria y Comercio; para que se haga un Análisis Legal y su Dictamen Preliminar, en el Departamento del Registro Nacional de Transferencia de Tecnología.
- 3.- Siempre y cuando, este contrato no viole ninguno de los catorce artículos de la "Ley sobre el Registro de la Transferencia de Tecnología, Uso y Explotación de Patentes o Marcas". Decretada el 28 de Diciembre de 1972 y publicada en el Diario Oficial el 30 de Diciembre de 1972. Hasta entonces el contrato podrá ser firmado.
- 4.- Finalmente, se deberá proporcionar información adicional al proveedor, sobre las características de las instalaciones de la Empresa Mexicana compradora, las materias primas disponibles y la mezcla de productos que se desean producir.

RECONOCIMIENTOS

QUIERO EN ESPECIAL AGRADECER CON TODO CARIÑO

A MIS PADRES :

ALFREDO Y MAGDALENA

COMO RECONOCIMIENTO A SUS SACRIFICIOS, AYUDA, ORIENTACION Y
APOYO.

A MI TIA ESTHER

A MI HERMANA IVONNE

A MI PRIMA LILA

A TODOS MIS FAMILIARES QUE DIRECTA O INDIRECTAMENTE CONTRI-
BUYERON EN MI FORMACION.

A TODOS MIS MAESTROS, COMPAÑEROS Y AMIGOS DE LA FACULTAD.

A MI NOVIA LUPITA

POR SU AYUDA, PACIENCIA Y ESTIMULO

MI AGRADECIMIENTO :

Al M.C. ALEJANDRO ESPRIU MANRIQUE DE LARA, director de mi tesis, profesor y amigo.

Al Dr. ALBERTO CORREA ALVAREZ, asesor, compañero de trabajo y amigo.

Sin cuya colaboración y ayuda desinteresada, no hubiera sido posible la realización de este estudio.

A todas aquellas personas que contribuyeron para la realización de este trabajo.

A la SIDERURGICA LAZARO CARDENAS, LAS TRUCHAS, S.A.