



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALURGICA

***“MAYOR SUSTENTABILIDAD Y MEJOR RENTABILIDAD
CON LA COMBUSTIÓN OXI-GAS EN EL HORNO
ROTATORIO”***

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN
METALURGIA Y MATERIALES**

P R E S E N T A

C. RICARDO JAVIER GÓMEZ ALONSO

**ASESOR: ING. FRANCISCO LAGUNES MORENO
CED. 384514**



MEXICO, D.F.

ABRIL 2007

ÍNDICE

	Página
Resumen	2
Introducción	3
Capítulo 1. Generalidades	4
Capítulo 2. Descripción del proceso a) Combustión con aire b) Combustión con oxígeno c) Protocolo de Kyoto	10
Capítulo 3. Balance térmico económico	37
Capítulo 4. Ventajas y desventajas	40
Conclusiones	42
Bibliografía	44

RESUMEN

Debido a la exigencia ambiental de sustentabilidad en los procesos, es requisito indispensable en las operaciones de fundición que la utilizan, el cambio de suministro de aire por oxígeno en el órgano respectivo para evitar la presencia de Nitrógeno, con lo cual se impide la formación de NO_x , se ahorra energía al no procesar ese 79% de contenido, con lo que además se mejora la rentabilidad de la operación. En estas condiciones de elevada temperatura que se obtiene puede admitir hasta un 40% de chatarra de acero, con lo que se disminuyen significativamente los costos por este concepto, apoyado por el movimiento de rotación que permite mayor absorción de carbono. El costo del refractario se ve disminuido sensiblemente, debido a que su diseño permite la colocación vertical de su refractario de tipo monolítico, lo que nos permite alargar la vida del mismo de una manera notable, evitando el diario mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La instalación de un horno rotatorio de 3 toneladas en una nueva planta piloto ha proporcionado la posibilidad de realizar un estudio exhaustivo sobre la Calidad Metalúrgica de las aleaciones elaboradas con este equipo, en relación con los diferentes parámetros del proceso de fusión utilizando oxi - combustión.

Los parámetros estudiados como variables son los diferentes revestimientos refractarios, métodos de adición de los elementos principales, condiciones de llama en el quemador, temperaturas y tiempos de preparación del metal, de acuerdo al análisis requerido.

Los resultados en cuanto a calidad, se han medido por las variaciones del análisis químico a lo largo de las diferentes fases del proceso, por la caracterización metalográfica, de ensayos mecánicos y por el análisis de evolución de gases para prevenir defectos en las piezas fundidas. Respecto al balance energético se han valorado los consumos de gas natural y oxígeno en ciclos de fusión completos.

Una de las conclusiones obtenidas hasta el momento indica la conveniencia de utilizar materiales protectores de la carga (antracita y arena de sílice han dado buenos resultados) durante las fases de fusión, sobrecalentamiento y mantenimiento, bajo el riesgo de graves pérdidas de elementos oxidables (Si y Mn principalmente). Por otra parte, la adición de materiales auxiliares para ajuste de análisis da mejores resultados mediante su incorporación en la olla de tratamiento, aunque se presenten algunos inconvenientes. La generación de gases disueltos en el metal líquido no es problemática.

Fue suficiente la capacidad de un horno de experimentación (3 ton) para ofrecer que las conclusiones logradas puedan extrapolarse a hornos industriales de mayor capacidad (3 a 12 ton), suponiendo para los fundidores un nuevo aporte a la eficiencia de sus operaciones.

Este tipo de hornos es ideal para la fabricación de hierros nodulares y grises de alta aleación como el Ni-Hard, además de otros metales no ferrosos, desde luego cabe señalar que NO ES UN HORNO CONTINUO, es un horno por carga (batch) igual que los hornos eléctricos.

También es digno de mención que puede acoplarse para proceso Dúplex, es decir, horno para mantenimiento de la temperatura y pequeños ajustes a la composición química.

CAPÍTULO

1

GENERALIDADES

Un horno rotatorio es de forma sintetizada, un depósito metálico, cilíndrico en su parte central y cónico en los extremos, revestido de material refractario, donde es posible fundir, gracias a la energía que proporciona un quemador alimentado por un combustible de poder calorífico adecuado y empleando oxígeno, mientras todo el conjunto gira sobre su eje.

Este sistema de fusión por llama no es nuevo, pues hace ya muchos años se construyeron este tipo de hornos con cierto éxito. Inicialmente, los quemadores funcionaban con combustible líquido (petróleo y/o derivados) y aire.

Con el tiempo, esta forma de fundir hierro se fue abandonando, principalmente por los bajos rendimientos térmicos obtenidos y por los problemas de regulación de la mezcla. Ambos factores, significaban, tiempos de fusión elevados, bajas temperaturas y fuertes oxidaciones, además se generaban NO_x y SO_x .

Fue en la década de los 80 cuando se volvieron a tomar en consideración y sobre todo en Italia, donde fueron adoptados los nuevos sistemas de combustión. Se empezaron a utilizar los quemadores que hoy conocemos, cuya mezcla calorífica es a base de oxígeno y gas (oxi - combustión). La razón de los sucesivos cambios fue básicamente, mejorar el rendimiento térmico proporcionado por el quemador y lograr un adecuado control de la combustión. Esto ha conducido a la utilización ventajosa de los quemadores de oxígeno-gas natural y los de oxígeno-propano, fundamentalmente.

La producción de piezas moldeadas en fundición permanece todavía como una actividad industrial fundamental, tanto bajo el punto de vista histórico y estratégico como por su contribución al Producto Industrial Bruto.

El Sector de la Fundición se encuentra muy influenciado y dependiente del desarrollo de diversas tecnologías aplicadas en las diferentes secciones

productivas donde juega un papel fundamental la tecnología de preparación de metal, entendiéndose que se trata de la elaboración de la calidad metalúrgica del producto, así como de una parte importante de su costo.

Los procesos de fusión más empleados son dos: el de cubilote, en sus diversas opciones, y la de fusión eléctrica por inducción. Los dos tienen una extensa aplicación y cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes.

Hace unos años ha aparecido un tercer procedimiento de fusión que se presenta como interesante: la oxi - combustión, basada en un quemador de gas natural o propano en una atmósfera de oxígeno.

El horno rotatorio, en disposición horizontal y basculante en vertical, estando situado el quemador en la boca opuesta a la entrada de la carga sólida, pudiendo alcanzar una temperatura hasta de 2800 °C.

Una reciente innovación relativa de la gestión de la energía en los hornos rotatorios, oxi/gas mejora en gran medida sus resultados económicos.

El estudio que figura a continuación muestra que para muchas fundiciones europeas es preferible el Horno Rotatorio, al Horno Eléctrico de media frecuencia.

El estudio presenta el Horno Rotatorio como un nuevo concepto de la fundición, tan diferente al Cubilote como al Horno Eléctrico de media frecuencia.

En Europa y el resto del mundo la industria de la fundición se encuentra en plena evolución para adaptarse a las nuevas exigencias económicas de un mercado cada vez más abierto. Además, debe satisfacer las normativas relativas a las exigencias ambientales. (Protocolo de Kyoto) -1997- pero sobre todo a la protección del medio ambiente y el resto de las condiciones de trabajo de los trabajadores.

Las tecnologías de preparación de metal participan en esta evolución perfeccionándose continuamente y mejorando cada vez más su rentabilidad.

Desde hace más de diez años los Hornos Rotatorios al oxígeno hicieron una entrada espectacular en las fundiciones europeas. Actualmente están en funcionamiento en el mundo más de 200 hornos rotatorios principalmente en Europa.

El constructor europeo Sogemi, con base en Milán, ha instalado más de 140 Hornos Rotatorios de capacidades que varían entre 2 y 20 toneladas para producciones horarias de 1 a 12 ton/hora, de fundición gris o nodular.

Actualmente en Italia, por ejemplo, más de 60 fundiciones ya están equipadas con Hornos Rotatorios al oxígeno.

Este estado de cosas demuestra muy concretamente el gran interés que dedica la profesión al nuevo concepto de fusión que representa el Horno Rotatorio al oxígeno.

La energía liberada en la llama calienta esencialmente el horno por radiación, al metal protegido por una escoria, así como el refractario del horno. La rotación del horno permite transferir por conducción la energía acumulada del refractario hacia el metal y de este modo, mejora el balance térmico. El metal líquido es calentado a una velocidad media de 6 °C por minuto con los hornos convencionales y de 11 °C por minuto con los hornos equipados con oxígeno.

La temperatura del metal es homogénea en el horno y nunca se ha encontrado ninguna variación de temperatura anormal en metal extraído de la olla, así se obtiene fácilmente una fundición hasta 1500 °C.

La energía acumulada en el refractario (de 2 a 4 toneladas de refractario por tonelada de metal líquido) permite conservar el metal en el horno durante la extracción a la olla sin consumo de energía suplementaria o con un consumo mínimo.

Al igual que los demás procedimientos la realización del cambio del refractario debe realizarse con un método, de preferencia monolítico para obtener resultados óptimos en los balances metalúrgicos y energéticos, esto lo facilita el diseño que permite colocar verticalmente el horno. Los materiales se introducen en un orden determinado.

USO DE OXIGAS EN HORNOS ROTATORIOS

Los Hornos Rotatorios para fundir hierros se empezaron a usar por primera vez en Francia durante la primera Guerra Mundial en los años (1914-1918). El combustible que se usaba en aquella época era a base de carbón pulverizado.

Más adelante los Ingleses adoptaron este nuevo proceso para fundir metales y en 1930 se instaló una batería de Hornos Rotatorios en la fundición "Armstrong and Withword", con los cuales se podía fundir durante dos días seguidos, además logrando temperaturas hasta de 1450°C, controlando la composición química y temperatura antes de iniciar el vaciado o colado.

Por las ventajas que presentaban este tipo de hornos, se empezó a difundir rápidamente en el medio de los fundidores, sobre todo para aquellos que estaban

iniciando la fabricación del “Hierro maleable”, que requería estricto control químico de los elementos como el Fósforo y Azufre difíciles de bajar en los cubilotes, de esta manera se empezó a popularizar la fusión de estos hornos, sobre todo para la fabricación de hierros especiales y aleados.

Como principal desventaja presentaba el tener que usar como combustible carbón pulverizado, lo cual requería instalar una pequeña planta de pulverizado; esta operación adicional ocasionaba costos de mantenimiento especializado, además de ser un proceso sucio y altamente contaminante.

Más adelante el problema se eliminó con el uso de combustibles derivados del petróleo como el combustóleo y el diesel de menor precio y fácil manejo. Además de tener un alto poder calorífico.

Podemos decir que en la actualidad para la fabricación de hierros se utilizan principalmente tres tipos de hornos, siendo el más popular y conocido el Horno de Cubilote, luego siguen los Hornos Eléctricos de Inducción de media y baja frecuencia y ahora viene el regreso de los Hornos Rotatorios oxi-gas.

SEGUNDA GENERACIÓN DE HORNOS OXI-GAS

En esta nueva etapa se han desarrollado los hornos con las tecnologías de punta, con lo cual se corrigieron muchas diferencias que se tenían inicialmente, además de incrementar sustancialmente la facilidad de operación, la eficiencia, el rendimiento y los costos de fabricación.

Además se controlan las emisiones ambientales casi en su totalidad como son: humos, cenizas, gases, ruidos, etc.

De este hecho, se puede deducir que la única limitación del horno en cuanto a la temperatura alcanzada en el metal líquido, se encuentra en la naturaleza del revestimiento.

Las velocidades de fusión alcanzadas son interesantes bajo el punto de vista de explotación, así como por los consumos de gas y oxígeno. Se puede también cambiar de calidades fácilmente en coladas consecutivas, y por último, no hay necesidad de instalaciones anexas para depuración ambiental.

A nivel del costo integral de producción, para una capacidad de producción semejante, el cubilote y el horno de inducción presentan un sobre costo del 10% y 19% respectivamente frente al horno de oxicomustión, y a nivel de consumo en términos de energía primaria estas cifras ascienden entre 6% y 23%.

Todos estos aspectos de ventajas tecnológicas, no exhaustivas, hacen de este horno una tercera alternativa como sistema de fusión a estudiar para implantarlo en una instalación de fundición.

Estas son las razones que además de justificar esta elección, han posibilitado la implantación de un número no despreciable de hornos de oxi - combustión en Italia, Francia, Alemania, Suiza, Austria y otros países, entre ellos España.

Se puede concluir entonces diciendo que esta nueva tecnología de fusión posee las características exigidas a nivel de industrialización. Sin embargo, hay una serie de factores desconocidos, derivados de la corta experiencia práctica, que provocan ciertas dudas en cuanto a la calidad metalúrgica del metal líquido producido.

Este punto se centra básicamente en tres fenómenos metalúrgicos diferentes:

- Grado de aptitud del metal a ser inoculado.
- Nivel de oxidación del metal fundido.
- Cuantificación de la pérdida elemental de los principales elementos químicos.

DESCRIPCIÓN DE LOS HORNOS ROTATORIOS

El equipo de fusión

Los hornos rotatorios son equipos de fusión del tipo discontinuo al igual que los hornos eléctricos. La energía de fusión procede de la combustión de alto rendimiento al Oxígeno de un combustible como el gas natural, el propano o derivados del petróleo como el diesel. En Europa el 71% de los hornos funcionan con gas natural, el 16% con propano y el 13% con combustible líquido (petróleo, diesel). En fundición de los precios de energía practicados localmente, la fundición puede decidir adoptar la fuente de energía menos costosa y cambiar fácilmente de energía si las condiciones económicas lo imponen.

LOS NUEVOS HORNOS ROTATORIOS EQUIPADOS CON OXÍGENO

Los equipos de investigación de gases industriales, acaban de realizar un proceso determinante: la puesta a punto de la técnica de fusión utilizando oxígeno.

Esto se utiliza a nivel industrial en las fundiciones de varios países desde hace casi 2 años.

Básicamente consiste en utilizar intensivamente Oxígeno para aumentar el rendimiento energético en un 28% aproximadamente. En consecuencia, la

velocidad de fusión se ha acelerado y los balances económicos son aún más competitivos.

Por su sencillez, rusticidad, por sus costos de inversión y funcionamiento, muy competitivos, el horno rotatorio de segunda generación, que funciona con Oxígeno, ha alcanzado un elevado nivel de beneficios que ha permitido la gran difusión de esta tecnología en las fundiciones.

Así pues, con el oxígeno se ha franqueado una nueva etapa de mejora de la competitividad de los hornos rotatorios “convencionales”.

Para evaluar los nuevos beneficios industriales de los hornos al oxígeno es necesario compararlos con respecto a las tecnologías ya existentes, como los cubilotes y los hornos eléctricos de inducción de media frecuencia.

Es importante recordar que las tres técnicas de elaboración de fundición (cubilote, horno eléctrico y horno rotatorio) corresponden a tres conceptos de fusión absolutamente diferentes en su propio principio y utilización industrial.

Sólo tienen un punto en común: los tres producen fundiciones de excelente calidad.

Para no complicar este análisis, compararemos los hornos rotatorios con los hornos eléctricos, ya que los cubilotes son perfectamente conocidos por la mayoría de los fundidores.

La comparación entre los hornos rotatorios y los hornos de media frecuencia se basará en una producción continua de 5 ton/hora de fundición líquida.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

a) Combustión con aire

Los hornos rotatorios de la primera generación realizaban la combustión utilizando petróleo y/o derivados y aire. El aire esta compuesto por 79% de Nitrógeno y por ejemplo en el horno de cubilote para producir una tonelada de hierro líquido a punto de vaciar en moldes se requieren 1000 m³ de aire, de los cuales solo 210 participan en la combustión y ceden calor para precalentar los 790 m³ de Nitrógeno, haciendo ineficiente el proceso, además de que al reaccionar con el oxígeno se genera el NOx que produce la lluvia ácida. De lo anterior se destaca lo ventajoso que resulta el empleo de oxígeno puro.

b) Combustión con oxigeno

La nueva combustión con oxi-gas se ha desarrollado con el uso de Oxígeno puro y como energético se puede usar: gas natural, gas metano, gas propano y gas butano, además también se puede usar (fuel) diesel o combustóleo. Obteniendo muy altas temperaturas en el horno.

Debemos recordar que la temperatura de la flama alcanza los 2800°C con lo cual se tienen pequeños volúmenes de gases por la combustión sin nada de Nitrógeno, con lo cual podemos afirmar que tenemos mínimas emisiones de óxido de Nitrógeno, por otro lado tenemos muy bajo contenido de CO, CO₂, y de H₂O, en los gases de salida del horno, además tendremos por las altas temperaturas de la flama, dentro del Horno una radiación a las paredes del forro refractario, logrando una energía adicional por la conducción de calor cuando está girando el horno, de tal forma que este calor se aprovecha para elevar la temperatura del metal y no dejar con zonas muy calientes el revestimiento con lo cual se alarga la vida considerablemente del refractario, teniendo una temperatura casi uniforme dentro del cuerpo del horno.

Desde luego el metal siempre debe estar cubierto por una capa de escoria previamente preparada, esta es a base de caliza, por consiguiente protege el contacto directo de la flama del quemador al baño del metal, y así, evitar lo más posible las pérdidas de Carbono y Silicio dentro del horno.

Para concluir con este interesante tema de la combustión dentro de estos hornos, podemos decir que tenemos lo siguiente:

3 volúmenes de:



Y no tenemos “**SO₂**”

Con esto que se presenta, se puede asegurar que las emisiones contaminantes de estos hornos son mínimas y las Normas que la regulan están por debajo de las especificaciones de aceptabilidad de cualquier país a nivel Internacional.

Las máximas emisiones con este nuevo proceso tiene autorizado un máximo de polvos de:

$$20 \text{ mg/m}^3 \text{ (mg polvo x m}^3 \text{ de humo)}$$

Por lo antes dicho estos hornos en condiciones normales no requieren de equipos anticontaminantes, lo cual es una importante economía de la inversión inicial. Instalación y mantenimiento.

Horno

La cuba está compuesta de un cilindro principal en acero complementado con dos bandas de rodadura que trabajan en un eje horizontal sobre dos rodillos motorizados que permiten la colocación del quemador en un lado y la entrada de carga sólida y salida de gases de combustión por el lado opuesto.

El horno se inclina 35° para facilitar la carga a través de una tolva ajustada a la boca posterior. Efectuada la misma, bascula en sentido contrario hasta un máximo de 50° respecto a la posición de carga, lo que permite conseguir una homogénea distribución del material a lo largo de la cuba.

Para proceder al arranque, se sitúa el horno en posición horizontal y se enciende el mechero. Un sistema de temporizadores hace girar al horno ¼ de vuelta cada cinco minutos hasta que el metal esté pastoso.

En ese momento, el horno gira en continuo durante el tiempo previsto automáticamente para obtener la temperatura de baño deseada.

El desescoriado se efectúa por basculamiento del horno a 90°.

Sistema de Carga

Está compuesto por un transportador metálico con cierre lateral para posibilitar la carga de recorte menudo de placa. Su anchura es de 600 mm y la velocidad de avance de 12 m/min. La longitud total es de 8 m disponiendo en el extremo inferior de una tolva de 3.500 Kg. de capacidad, por lo que nos permite tener preparada la totalidad de la carga con la suficiente antelación así como ordenar la introducción de los distintos componentes de la misma.

Aunque su inclinación respecto al plano es de 28°, el diseño angular de las paletas permite el transporte de formas redondeadas de tamaño medio.

La alimentación se hace por medio de un electroimán de 640 x 420 mm de base, con una potencia de carga de 700 Kg.

Equipo de Combustión

La instalación comprende:

- Central de almacenamiento y gasificación de oxígeno líquido, con una capacidad de 3.500 L y un caudal máximo de 360 Nm³ h.
- Armario de regulación para gas -1 bar y oxígeno -4 bar.
- Quemador turbulento OGR con una potencia de 1.500 Kw.

Revestimiento

Se ha estimado oportuno revestir el horno con dos tipos de refractario con el fin de poder estudiar el comportamiento del mismo en distintas zonas del horno.

Dado que las condiciones de trabajo son distintas a lo largo de la cuba, se ha dividido la pared del horno en cuatro zonas, disponiendo cada uno de los refractarios en diagonal, para así poder apreciar su evolución en ausencia de variables.

Tras la realización de las primeras coladas no se aprecia ningún tipo de desgaste o erosión en ninguno de los sectores.

TABLA I. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL REFRACTARIO

CONCEPTO	TIPO 1	TIPO 2
T° límite de trabajo	1.650 °C	1.700 °C
Granulometría	0 – 10 mm	0 - 10 mm
Tipo de aglomerante	Orgánico - químico	Cerámico
Método de empleo	Apisonar	Apisonar
Densidad	2,4 Kg./dm ³	2,3 - 2,5 Kg./dm ³
Composición química		
- SiO ₂	93%	95%
- Al ₂ O ₃	5%	4,8%
- CaO	-	0,1%
- MgO	-	0,1%

Colada

Es recomendable usar dos ollas para la fabricación de hierro gris y nodular, con capacidades de 1.000 y 1.200 Kg. respectivamente. Ambas disponen de reductor y volante de giro permitiendo la colada directa.

La olla de 1.000 Kg. es de cuerpo cilíndrico y abierto, disponiendo en su fondo de dos tapones porosos simétricos de 110 mm de diámetro.

La destinada a fundición nodular es del tipo denominado “Pico de Tetera”, con un recovero para la aleación de 250 mm x 200 mm, tetera de 60 Kg. y Ø de 90 mm y una tapa de diseño especial con tapa en plano inclinado para el desescoriado.

Las pesadas del material de carga y sangrado se efectúan con una báscula aérea de 6.000 Kg. con un error de pesada del $\pm 0,5\%$. Esta báscula incorpora un sistema de integración de picos que garantiza la exactitud de la pesada incluso en condiciones de vertido.

Se vacía el horno en tres sangrados de 1.000 Kg. por colada, vertiendo el hierro en los moldes fabricados por aglomeración (orgánico), en la línea instalada a tal fin. Consta ésta de un silo principal de 20 ton, silo de alimentación de 3 ton de un enviador neumático y una turbo mezcladora de 7 ton/hora con una mesa vibrante de 600 x 700 mm.

Todo el movimiento de materiales se realiza mediante un puente grúa de 5 ton con doble polipasto de 500 Kg. y doble velocidad.

Probetas

Para la obtención de las probetas de control se utiliza un molde con seis modelos simétricos de 1" de espesor y 5" de longitud en la base de muestra. Se cuela un molde por olla, lo cual supone un total de 18 probetas por colada, cubriendo con ello la caracterización metalográfica y ensayos mecánicos de la colada en cuestión.

OBJETIVOS

- Como ya se ha explicado en la introducción, esta tecnología de fusión cumple con los requerimientos exigidos en costos a nivel de industrialización. Sin embargo, existe una serie de factores desconocidos o poco estudiados, derivados de la corta experiencia práctica, relacionados con la calidad metalúrgica del metal líquido producido.

Estos factores están centrados en los siguientes fenómenos metalúrgicos:

- Grado de aptitud del metal a ser inoculado.
- Nivel de oxidación del metal fundido.
- Cuantificación de la pérdida elemental de los elementos químicos principales en función del método de adición de los mismos al metal líquido.

Cada uno de estos tres factores han sido estudiados variando las condiciones principales del proceso de elaboración del metal líquido que pueden afectarlos. Se enumeran a continuación las variables introducidas en el proceso y que pueden tener relación con los fenómenos citados anteriormente:

1. Carga sólida introducida, con o sin materiales de protección.
2. Temperaturas y tiempos de elaboración del metal.
3. Condiciones de llama utilizados en el quemador.
4. Métodos para introducción de elementos de aleación.
5. Materiales a obtener (fundición laminar y esferoidal).

Carga sólida

Se han estudiado diferentes cargas metálicas según se indica en la Tabla II; además se ha visto la influencia de utilizar otros materiales tales como antracita (1,5% sobre la carga sólida) la cual crea una atmósfera reductora que protege al metal de la oxidación y arena de sílice + caliza (1% + 0,3% sobre la carga sólida) para fluidificar la escoria.

TABLA II. COMPOSICION DE CARGAS METALICAS

REFERENCIA	ACERO [%]	RETORNO [%]	LINGOTE [%]	TOTAL
1	10	30	60	100
2	20	40	40	100
3	30	50	20	100
4	40	50	10	100

Como se puede ver el citado cuadro, se han variado los porcentajes de acero desde 10 a 40% al igual que los de lingote y se han mantenido los de retorno entre 20 y 50% por estar en este margen la mayoría de las fundiciones.

Temperaturas y Tiempos de Elaboración

El rango de temperaturas de elaboración hasta poner el metal a punto de ser vaciado del horno ha sido desde 1.430°C a 1.540°C con el fin de poder abarcar los valores de este parámetro usuales en la fundición.

Por otra parte se han realizado vaciados de metal en condiciones normales, que suponen un tiempo de 40 minutos como máximo; además, para ver el efecto del tiempo de mantenimiento en el metal líquido se ha tenido la totalidad del metal en el horno durante 1,5 horas efectuándose posteriormente el vaciado en 3 ollas de 1.000 Kg.

Condiciones de Llama en el Quemador

Hasta el momento se ha trabajado con las condiciones de llama sugeridas por el suministrador del quemador; dichas condiciones se indican en la Tabla III y en ella se refleja además la parte del proceso involucrada, el tipo de combustión utilizado y la potencia aplicada en cada fase.

TABLA III. CONDICIONES DE LA LLAMA DENTRO DEL QUEMADOR

FASE DEL PROCESO	FUSIÓN	SOBRECA- LENTAMIENTO	MANTENIMIENTO
POTENCIA	1.500 Kw.	1.300 Kw.	500 Kw.
REGLAJE DE COMBUSTION	Estequiométrico 130 Nm ³ gas- 260 Nm ³ O ₂	Sub-Estequiométrico (-20%) 130 Nm ³ gas-210 Nm ³ O ₂	Sub-Estequiométrico (-30%) 60 Nm ³ gas-84 Nm ³ O ₂
DURACION	1 hora	30 min. a 45 min.	40 min. a 2 horas

Métodos de Adición de Elementos de Aleación

Se han experimentado tres métodos para adicionar los elementos fundamentales de aleación (C, Si, Mn, S y Cu):

- a) Inyector de N₂ como gas impulsor.
- b) Incorporar los materiales de adición en el momento de la carga.
- c) Adicionar estos materiales en la olla de tratamiento (vaciado).

Hay que señalar que, como veremos posteriormente, el primer método aporta mejores rendimientos que el segundo si bien la pérdida de temperatura del metal fundido es notable (de 110 a 140°C por cada 100 Kg. de material añadido). Por otra parte se precisa un tiempo de homogeneización de todo el baño tras el aporte del material añadido.

El tercer método es ciertamente bastante eficaz y es preciso tener en cuenta tres aspectos:

1. Se requiere aumentar la temperatura en horno en función de la cantidad de material a añadir y de la temperatura óptima de colada.
2. Si se vacían ollas con poco peso de metal pueden presentarse disoluciones incompletas.
3. En el caso de fundiciones esferoidales, si se efectúa el tratamiento de nodulización en la olla, el proceso de disolución se mejora de manera importantemente debido a la agitación del metal originada por la reacción del Magnesio.

Materiales a obtener (Fundición Gris y Esferoidal)

Se han estudiado dos materiales, uno de fundición laminar, calidad 250 (ISO R185) y el otro de fundición esferoidal, calidad 600-3 (ISO R1083), por ser ambas comúnmente utilizadas en el ámbito de la fundición.

El proceso de nodulización utilizado para obtener la fundición esferoidal ha sido el conocido como “Tundish-Sido” de 0,3% de FeSi al 75% en la olla y 0,1% de inoculante comercial colocado en el molde.

En la fundición laminar la inoculación ha sido de 0,3% de FeSi 75% en olla.

En cuanto a la obtención de resultados de los fenómenos metalúrgicos mencionados al inicio se han utilizado los siguientes medios:

- a) Análisis químico (sus variaciones a lo largo del proceso) para efectuar los cálculos de rendimiento de los elementos principales.
- b) Caracterización metalográfica y de ensayos mecánicos para apreciar la calidad del metal elaborado y su respuesta a la inoculación.
- c) Análisis de gases (N_2 y O_2) para valorar el efecto de oxidación en el metal y la incidencia del N_2 en el proceso.
- d) Consumos energéticos obtenidos.
- e) Valoración del refractario utilizado (desgaste).

La valoración de resultados, que se verá en el punto siguiente, configura la consecución del objetivo principal del proyecto consiste en:

FIJAR LAS PRINCIPALES VARIABLES DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL HORNO DE OXICOMBUSTION PARA OBTENER UNA ADECUADA CALIDAD METALURGICA.

Resultados

La información que se recoge a continuación en cuanto a resultados está clasificada de acuerdo con los medios citados anteriormente para su evaluación, realizando al mismo tiempo los comentarios adecuados respecto a la influencia de los diferentes parámetros variables del proceso.

Cuantificación de las Pérdidas de los Elementos Químicos Principales

Esta sección está desglosada en dos partes diferenciadas: en la primera se hace referencia a las pérdidas de los elementos introducidos como componentes de las cargas metálicas del horno y en la segunda se hace referencia a las pérdidas de los elementos procedentes de materiales de aleación que se producen en los diferentes métodos de adición.

Pérdidas en la Carga Metálica

Las pérdidas difieren bastante en todos los elementos en función de que se añadan o no en la carga de los materiales de protección ya citados (antracita 1,5% y sílice + caliza 1% + 0,3% sobre la carga respectivamente).

Así tenemos que en el 1^{er} caso las pérdidas obtenidas, de media, son las siguientes /para una temperatura en horno

- Carbono : 10%
- Silicio : 16%
- Manganeso: 30%
- Azufre : Sin variación
- Cobre : Sin variación

Para temperaturas del orden de 1.530°C las pérdidas en Carbono son alrededor del 20% mientras que en el resto no se aprecian diferencias importantes.

En las mismas condiciones, operó sin material de protección las pérdidas se incrementan, sobre todo en Silicio:

- Carbono : 14%
- Silicio : 40%
- Manganeso: 40%
- Azufre : Ligera reducción
- Cobre : Sin variación

El efecto de utilizar diferentes porcentajes de acero y lingote en la carga no afecta en demasía a las pérdidas al fuego en la carga sólida, así como tampoco la densidad del acero utilizado.

Debe señalarse que así como el Carbono y el Manganeso ofrecen poca dispersión en los valores de las pérdidas sufridas, el Silicio se revela como un elemento difícil de controlar lo cual sugiere que hay que darle un margen de tolerancia en función del tratamiento posterior (adiciones) y del porcentaje final a obtener en las piezas fundidas.

No se han observado pérdidas a lo largo de tiempos de mantenimiento de 2 horas con protección de antracita y combustión subestequiométrica (-30%). Están pendientes ensayos de más duración y sin material de protección.

Pérdidas según los diferentes Métodos de Adición

Lanza de inyección con N₂ (Inyector)

Ya se han comentado las ventajas e inconvenientes de este método de adición de materiales, a los que habría que añadir el pequeño coste suplementario de la inversión y el gasto en N₂ cada vez que se realizan las operaciones de adición.

Los rendimientos de aportación son bastante variables con esta técnica y además se aprecia la influencia de los porcentajes de acero y lingote en la carga pues las pérdidas de elementos añadidos aumentan cuanto mayor es el aporte a realizar.

Así los rendimientos se sitúan en un 40 a 70% para la recarburación, 70 a 80% en la adición de FeSi 45, 50 a 60% en la adición de FeMn 75.

Adición de Carga Sólida

La recarburación, mediante la adición de grafito en la carga sólida, tiene un rendimiento que oscila entre 70 y 50% en función de que lleve o no carbo - coke como protección, para contenidos en acero bajos (10 a 40%) y fabricación de fundición laminar (3,30%C). Este rendimiento desciende a niveles del 50 al 40% si se incrementa el porcentaje de acero (30 a 40%) o si se pretende fabricar fundición esferoidal (3,80%C).

La recarburación en la carga sólida tiene algunos efectos complementarios, que aún no hemos confirmado, como son que las pérdidas por fuego en Silicio son máximas y las pérdidas en Manganeso son menores cuanto mayor es su proporción en los componentes de la carga metálica y se reduce a medida que se añaden como FeSi y FeMn respectivamente.

Adición en la olla

Este método parece ser muy adecuado, siempre que los ajustes a realizar no sean de gran cuantía y que se disponga de medios de pesada (del metal líquido y de los aditivos) suficientemente confiables. Hay que tener en cuenta también que el metal a extraer en la olla sea suficientemente importante (superior a 500 Kg.), la forma de la olla cilíndrica en sentido vertical y la granulometría del aditivo bastante elevada. El tratamiento de la fundición esferoidal aporta la ventaja suplementaria de la agitación creada en dicha operación. Por otra parte, la temperatura en horno se ha de elevar en función de la cantidad de aditivos que se van a introducir en la olla.

Las experiencias realizadas hasta ahora nos han mostrado la factibilidad de poder incrementar los siguientes porcentajes:

Carbono (Grafito): Hasta 0,4% con un rendimiento del 70%.
Silicio (FeSi 75%): Hasta 0,8% con un rendimiento del 85% (sobre FeSi 75%).
Manganeso (FeMn 75%): Hasta 0,5% con un rendimiento del 80% (sobre FeMn 75%).
Azufre (Pirita): Hasta 0,04% con un rendimiento del 20% (sobre SFe).
Cobre (Metálico): Hasta 0,7% con un rendimiento del 98%.

Se han realizando ensayos de adición en la olla mediante la aplicación de un burbujeo de N₂ a través de la olla (por medio de un tapón poroso) para crear la suficiente agitación que favorezca la disolución de los materiales adicionales.

Cuantificación de la Calidad Metalúrgica

Este apartado se subdivide, para su estudio en las dos estimaciones correspondientes a la estructura metalográfica y al análisis químico requerido del metal a obtener con base en sus propiedades físico - mecánicas.

Caracterización Metalográfica

Las estructuras obtenidas en cuanto a la forma y repartición del grafito han sido bastante homogéneas en las diferentes coladas realizadas en fundición laminar y esferoidal.

En las fundiciones laminares se ha obtenido un grafito de forma I y tipo A en su mayor parte, aunque también aparecen algunas zonas de grafito interdendrítico (distribución E); el tamaño de las láminas es de 3 a 6. La aparición del grafito E, asociado con tamaño 5-6, se ha dado mayoritariamente en los extremos de las probetas y es algo más acusado en las coladas con mayor contenido en acero.

En las fundiciones esferoidales se ha obtenido un grafito de forma VI de repartición, tamaño (22) y conteo (175 nod/mm²) homogéneos.

Lo mismo cabe decir de la matriz de las fundiciones esferoidales, que son predominantemente perlíticas (80% de perlita) debido a los elementos de aleación que incorporan (Manganeso y/o Cobre). Señalar por último que la templabilidad obtenida en la cuña respectiva es similar a la obtenida por fusión en cubilote con 3-6 mm de profundidad (sin inocular), y prácticamente sin temple tras la inoculación. Se ha diseñado una probeta de aletas para medir el grado de necesidad de inoculación.

Caracterización de Ensayos Mecánicos

Los valores obtenidos en las propiedades mecánicas ensayadas sobre las probetas en Y guardan relación con la composición química y las estructuras metalográficas derivadas.

Destacan a nuestro juicio, los excelentes valores de carga de rotura obtenidos tanto en las fundiciones laminares como en las esferoidales debido tanto al reparto grafitico (tamaño bajo y buena densidad) como a las matrices perlíticas.

Las durezas son lógicas y no ofrecerán particulares problemas de maquinabilidad.

TABLA IV. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ENSAYOS MECÁNICOS

Referencia	COMPOSICIÓN QUÍMICA						ENSAYOS MECÁNICOS			
	% C	% Si	% Mn	% S	% Cu	% Mg	Dureza (HB)	Car. Rot. MPa	Límite Elástico MPa	Alargamiento
* 1L A 6 L	3,20	2,20	0,70	0,056	-	-	207	260	-	-
	3,35	2,50	0,80	0,060	-	-	223	285	-	-
** 15 A 65	3,55	2,50	0,20	0,008	0,70	0,034	235	680	502	4,5
	3,70	2,80	0,50	0,012	0,10	0,048	262	725	545	5,3

* Fundiciones Laminares

** Fundiciones esferoidales

Análisis de Gases

Se ha realizado una valoración de gases disueltos (O_2N_2) en el metal tras su solidificación, para apreciar la posible incidencia de la atmósfera en el proceso de fusión.

Los contenidos de oxígeno no son muy superiores a los obtenidos cuando se trabaja con otros medios de fusión (40 ppm como máximo), habiéndose dado la mayoría de resultados por debajo de esta cifra. Sin embargo está pendiente de realizar el estudio con una llama más oxidante así como de ver el efecto de mantenimiento largo, bajo combustión más reductora.

Así como en otros medios de fusión no son inusuales valores de hasta 80 ppm de Nitrógeno en el metal, los valores obtenidos por fusión en oxicombustión son

bastante inferiores (alrededor de 50 ppm) si bien su contenido aumenta en fundiciones laminares de alta temperatura al crecer la solubilidad del N₂ con este parámetro. En fundición esferoidal los valores son bastante menores por ser eliminado el N₂ por el vapor de Magnesio.

Consumos energéticos

Los consumos de gases involucrados en el desarrollo de un ciclo completo del proceso (fusión + mantenimiento) oscilan entre 70 y 80 Nm³ de gas natural y 150 y 166 Nm³ de O₂ por ton de metal fundido en función de la temperatura a alcanzar en el horno. Como nota aclaratoria hay que indicar que el Poder Calorífico del gas natural utilizado es de 9.200 kcal/m³.

Lógicamente el mayor consumo se da en las fases de fusión y sobrecalentamiento del metal suponiendo un 70-80% del total.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Potencia total instalada 9 Kw.
- Capacidad mínima de fusión 2.000 Kg.
- Producción media del horno 2.000 Kg. de fundición líquida a 1450° C. cada 95-160 minutos aproximadamente (este tiempo depende del tiempo necesario que se emplea para vaciar el horno).

1. - Horno rotatorio

El cuerpo central está formado por un cilindro electrosoldado, de placa de gran espesor, al cual están soldadas las pistas (cinchos) de rodadura. En los dos extremos del cilindro están montadas las cabezas tronco-cónicas.

En la parte tronco-cónica posterior está montada una brida en acero inoxidable refractario con alto contenido en níquel cromo, para permitir una duración mayor de la parte que pueda entrar en contacto directo con la llama.

El horno cilíndrico está montado sobre un bastidor en forma de cuna mediante cuatro ruedas que apoyan sobre pares de soportes con rodamientos orientables de rodillos protegidos por carteres de seguridad.

El giro se consigue aplicando potencia a dos ruedas motrices movidas por un motorreductor pendular protegido por un carter especial. Esta solución técnica posibilita la alineación mecánicamente perfecta, entre el motorreductor y las ruedas y un desmontaje fácil en caso de necesidad, sin intervenciones sobre las partes mecánicas del horno y sin tener que desplazar el cilindro.

Además de las cuatro ruedas de apoyo hay otros pares de ruedas que tienen la función de mantener el horno en su posición correcta. Estas ruedas tienen rodamientos que permiten su giro. Están montadas rígidamente e impiden que el horno se desplace hacia el quemador o hacia la salida de humos. Las pistas de rodaje del cilindro están torneadas. Se sujeta así, en cualquier momento, el horno en su posición óptima, suavemente, sin tirones, golpes o esfuerzos violentos sobre los rodamientos.

El bastidor está formado por un plano de perfiles y por dos robustos soportes laterales a los que están fijados los bulones de giro. Estos están alojados en dos casquillos antifricción lubricados y de amplia superficie de trabajo, apoyados sobre dos soportes colocados a su vez sobre las bancadas de fijación.

Dos cilindros hidráulicos con amortiguador incorporado, se encargan de la rotación del bastidor, posicionando el horno a 35° para la carga y a 90° para la reparación del apisonado.

También están dotados de un sistema que permite inclinar el horno en sentido contrario, haciéndolo bajar 35° hacia la salida de humos. Es así posible reparar en caliente incluso, el refractario del cono del lado de humos y distribuir más homogéneamente la carga.

Directamente sobre los cilindros están montadas las válvulas de seguridad antirretorno de mando hidráulico para operar en las mejores condiciones y no correr ningún riesgo incluso en caso de rotura simultánea de los dos tubos del aceite.

En la parte delantera se encuentra el cuerpo del quemador formado por un cilindro con bridas fijado mediante bulones a un brazo giratorio soportado sobre una corona. El conjunto está montado sobre una columna de soporte fijada en el suelo.

De este modo el quemador puede ser cómodamente alejado del horno girando la bandera cuando sea necesario.

En caso de ser necesario se aplicará un sistema neumático para la extracción del quemador.

Están previstos sistemas regulables con cuatro posibilidades, para conseguir el posicionamiento perfecto del quemador tanto durante el ensamblaje del horno como después. La potencia instalada es de 1,5 Kw.

2. - Serie de plantillas

Fabricadas en acero electrosoldado, totalmente desmontables y con varios elementos; para realizar la reparación del refractario en las mejores condiciones de trabajo posibles.

3. - Pupitre hidráulico (de mando)

Formado por un depósito que contiene el aceite hidráulico y por un cuadro de mando en el que están montadas las válvulas eléctricas para la descarga del horno operado hidráulicamente, las válvulas de regulación de la presión, manómetros, etc.

El sistema de mando es eléctrico y permite mandar al horno aceite en el circuito. Potencia instalada: 4 Kw.

4. - Grupo eléctrico de mando del horno formado por:

- a) Cuadro eléctrico de mando doble para el funcionamiento manual o automático de todas las partes de la instalación, con temporizadores para la definición de las diversas fases operativas, interbloques, seguros, alarmas, etc.

Están previstos también dispositivos para el abatimiento automático del horno durante la colada y un sistema de seguridad que impide el abatimiento del horno cuando el quemador esta activado para funcionar.

- b) Cuadros de mando para instalar localmente. Estos cuadros tienen montados testigos luminosos y pulsadores para permitir mandar todas las operaciones del horno tanto cerca del quemador, para el sangrado, como desde la plataforma de carga.

Tension standard: 380 V.

El Tablero de Control puede adquirirse con tensiones distintas.

5. - Grupo salida humos

Formada por un elemento cilíndrico que debe recubrirse interiormente de ladrillos refractarios y por una chimenea de 10 m. aprox. de altura que se apoya sobre un armazón de soporte.

Todo ello construido con perfiles y placas de acero soldado eléctricamente.

6. - Canal de carga fijo

Compuesto de un dosificador vibrante y de una estructura soporte, construido en placa con refuerzos.

Un cilindro neumático permite la dosificación de chatarra y actúa como elemento de seguridad en el resto de los casos.

El dosificador va apoyado sobre ocho muelles de amortiguación y accionado por dos motovibradores excéntricos regulables para controlar la entrada de chatarra.

Potencia instalada: 2 Kw.
Carga sobre el canal: 2.500 Kg.

El canal va apoyado sobre una estructura sobre placa desmontable y atornillada, en perfiles de doble T y UPN. Una plataforma de placa permite el acceso al canal vibrante mediante una escalera tipo marina.

7. - Manejo de carga

Compuesto de un cajón con ruedas y de una estructura soporte con guías de rodadura para la subida y la bajada.

Se opera completo con motoreductor de elevación, freno, tambor recoge-cable, polea de reenvío, etc.

Dotado de un sistema de vuelco mecánico por inercia, que entra en función en el tramo final del trayecto.

Viene provisto de fotocélula de seguridad colocada a la altura del hombre, que bloquea el sistema en caso de presencia de persona o cosa.

Un ejemplo:

Carga: 800 Kg.

Velocidad: 10 m/min.

Potencia instalada: 1,5 Kw.

8. - Canal de colada móvil sobre soporte con altura variable hidráulicamente

Compuesto de un brazo móvil montado sobre una corona giratoria que soporta un depósito para la recogida del hierro fundido y llevarlo a un único punto.

9. - Báscula de pesaje de la carga

Constituida de una placa de apoyo del cargador, soportada por celdas de pesaje con carga nominal de 10.000 Kg. para absorber los eventuales golpes y de una central electrónica con indicador digital de visualización de cuatro cifras.

Rampa de carga para guiar el material en la carga del skip.

MATERIAL REFRACTARIO

Refractario necesario para revestir el horno de 3 ton para la construcción del cuerpo, en cantidad de 13,000 Kg.

Ladrillos refractarios necesarios para el revestimiento del conducto móvil de salida de humos.

c) Protocolo de Kyoto

Fue a partir de mediados de los años 80' del siglo pasado en que se tomó conciencia del efecto pernicioso de las actividades industriales y de transporte. Primero en la afectación de la capa de ozono y segundo en que ciertos gases producen un efecto invernadero que ocasionan el recalentamiento del planeta y por consecuencia se agudiza el cambio climático. Este trabajo se presenta de la forma en que se convirtió en una realidad tangible el Protocolo de Kyoto, el día 16 de febrero de 2005 al entrar en vigor. Nuestro país es uno de los que con gran visión humanista lo firmó en su oportunidad. De allí, que mediante un relato cronológico se trata de hacer la mayor claridad para que todos tomemos conciencia de sus alcances y apoyemos ese vital compromiso y a la brevedad posible mejoremos nuestros procesos productivos y de transporte que reflejarán una utilización apropiada de la energía y ejerzamos un cerrado control a las emisiones de los mismos para lograr las metas establecidas entre los años 2008 y 2012.

Con la participación de Rusia, se logró la aprobación, pues aunque estaba firmado por 122 países, estos eran generadores del 44% de las emisiones y de esta forma Rusia con el 17% de las emisiones se superó la meta del 55%.

Una vez negociados los aspectos técnicos del protocolo de Kyoto sobre el cambio climático y alcanzado un acuerdo satisfactorio, el destino de este acuerdo como tratado internacional efectivo depende ahora de las decisiones políticas de cada país. Súmate a Kyoto ("Go for Kyoto") es una campaña de 200 días para acelerar la ratificación del protocolo de Kyoto sobre el cambio climático por parte de los gobiernos de todo el mundo.

La campaña se pondrá en marcha el 7 de febrero, 200 días antes de que los gobiernos se reúnan en Johannesburgo, Sudáfrica, en la llamada Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible (World Summit on Sustainable Development), que comenzará el lunes 16 de agosto de 2006.

Esta cumbre analizará el progreso del desarrollo sostenible en los 10 años desde la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, en la que los líderes mundiales optaron el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Las encuestas revelan que la gente se siente preocupada por el cambio climático. WWF/ Adena cree que la población quiere oír a sus representantes políticos en Johannesburgo para que el protocolo entre en vigor en el 2008 y pide también a todos los países desarrollados que se sumen a la ratificación para ejercer así una mayor presión sobre los principales contaminadores.

A medida que la cuenta atrás para la cumbre de Johannesburgo continúa, WWF/ Adena llevará a cabo eventos en los medios de comunicación sobre el cambio climático 150, 100 y 50 días antes de que inicie la conferencia.

Súmate a Kyoto, pretende informar a los políticos acerca del protocolo y persuadirles para que garanticen que sus respectivos países ratifiquen el acuerdo sin demora: La campaña también pretende identificar y eliminar los obstáculos que podrían perjudicar la rápida marcha de Kyoto, así como movilizar a los intereses públicos y empresariales para que presionen a los que deben adoptar decisiones políticas.

Muchas son las empresas que piden ya la actuación de sus gobiernos. Más de 150 empresas de 13 países distintos, con unos ingresos conjuntos en el año 2000 de unos 400.000 millones de Euros, se han unido con el objetivo de asegurar la entrada en vigor del tratado de Kyoto este año. Entre los participantes de más relevancia en esta iniciativa se encuentran Deutsche Telekom, la aseguradora del Reino Unido CGNU, el fabricante de electrodomésticos AEG, el Grupo de Crédito Sueco, la reaseguradora Suiza Re, ABB y Ricoh Company (Japón).

La campaña **Súmate a Kyoto** lleva unido el eslogan: **No te quedes atrás**. WWF/ Adena cree que los países pueden beneficiarse de la ratificación e incorporación del Protocolo de Kyoto obteniendo una participación competitiva en el mercado. Así mismo, también pueden beneficiarse al acceso a los mecanismos previstos en el Protocolo de Kyoto como la Aplicación Conjunta (Joint Implementation), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanism) y el Comercio de Emisiones (Emissions Trading) que sólo estarán a la disposición de aquellos que ratifiquen el tratado. Además las naciones que retrasen la ratificación podrían verse acusadas de detener el progreso para abordar el mayor reto ambiental de este siglo.

Acerca del Protocolo de Kyoto.

El protocolo de Kyoto se inscribe dentro del Convenio Marco de la ONU sobre cambio climático. Pide que los países industrializados excepto los EEUU, que no participan, reduzcan sus emisiones de gases que contribuyen al calentamiento del globo en aproximadamente un 5% por debajo de los niveles 1990 para el periodo 2008-2012. Los países adoptaron diferentes porcentajes objetivos dentro de este compromiso general. Permite que los participantes en el Protocolo de Kyoto deduzcan las emisiones en sus países de origen y/o beneficiarse de los llamados **mecanismos flexibles** (Comercio de Emisiones, el Desarrollo Limpio y la Aplicación Conjunta), así como contabilizar el carbono absorbido por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivo. Se impondrán sanciones a aquellos países que no cumplan sus objetivos.

Los países necesitarán haber hecho **progresos demostrables** para alcanzar sus objetivos para el año 2005. En vista del tiempo necesario para incorporar la

legislación al respecto, es vital que los gobiernos se muevan tan rápido como les sea posible para que el tratado entre en vigor.

El Protocolo de Kyoto no contiene ningún compromiso nuevo para los países en desarrollo más allá de los alcanzados en la convención de la ONU sobre el clima, celebrada en 1992, ya que se acordó que los países industrializados, como emisores principales de los gases que causan el calentamiento del globo, deberían ser los primeros en adoptar medidas para controlar las emisiones.

Requisito para la entrada en vigor.

El protocolo recoge dos criterios para que el acuerdo entre en vigor. El primero, que al menos 55 participantes en el convenio sobre el clima ratifiquen, acepten, aprueben o admitan el Protocolo. El segundo, que esto debe incluir a los participantes que aparecen en el anexo I del Protocolo (países industrializados) que sumen al menos el 55% de las emisiones totales de dióxido de carbono emitidas por las naciones recogidas en el anexo I de 1990. El Protocolo entrará en vigor 90 días después del cumplimiento de estos criterios.

A la fecha 11 de diciembre de 2001, 83 participantes firmaron y 46 ratificaron el Protocolo. Excepto dos de los demás son países en desarrollo. El principal escollo para su entrada en vigor será por tanto, el de garantizar las suficientes ratificaciones por parte de los principales emisores de CO₂ para superar el 55% límite.

El acuerdo de Bonn

El acuerdo de Bonn (2001) sobre el Protocolo de Kyoto fue un hito político en las lentas negociaciones internacionales. Los ministros de unos 180 países llegaron a un acuerdo global que incluía normas y procedimientos sobre diversos asuntos de los países en desarrollo (fondos, traspaso de tecnología, adaptación a los impactos del cambio climático), los mecanismos de Kyoto (Comercio de Desarrollo Limpio), sumideros y cumplimiento. En su conjunto, el acuerdo creó la arquitectura fundamental básica para que los países ratifiquen y pusiesen en práctica el Protocolo y para que negociasen futuros recortes de emisiones más estrictos. Se habilitó un paquete de fondos que incluía compromisos por parte de la UE, Nueva Zelanda, Noruega y Suiza para conceder a los países en desarrollo 410 millones de dólares americanos por año para 2005, con una revisión de los mismos en 2008.

Entre los puntos principales del acuerdo de Bonn se incluyen:

- Dar un tratamiento preferente a las energías renovables limpias bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio;
- Pedir a los países industrializados que frenen el fenómeno de la energía nuclear en los países en desarrollo. De hecho los gobiernos han dicho no a la energía nuclear como modo de frenar la contaminación por carbono;
- Normas factibles para el Comercio de Emisiones;
- Un régimen de cumplimientos que incluyan consecuencias no opcionales, de obligado cumplimiento para aquellos países que no alcancen sus compromisos.

Los acuerdos Marrakech

La conferencia de Marrakech en octubre de 2001 se centró en resolver algunos asuntos que quedaron pendientes en Bonn y finalizar la transposición del Acuerdo de Bonn a un texto legal como arreglo a la ONU.

Esto se realizó en forma satisfactoria y se acordó por consenso. En principio, el acuerdo de Marrakech debería haber eliminado cualquier barrera final para la ratificación del Protocolo de Kyoto, lo que es especialmente cierto para Japón, Rusia y Canadá, que consiguieron en un primer momento, imponer sus exigencias como condiciones indispensables para su ratificación: Ahora que las normas son completas, todos los países tienen una idea clara de lo que se espera bajo el protocolo en todos los niveles.

Cronología: el largo camino hacia el Protocolo de Kyoto

El garantizar un acuerdo sobre el Protocolo de Kyoto ha significado una larga y difícil serie de negociaciones, debido principalmente a la oposición bien fundada de las industrias del carbón, petroleras y de automoción que consideran sus intereses comerciales amenazados. Los que se oponen a emprender acciones contra el cambio climático están preocupados porque las medidas para acabar con la contaminación causantes del calentamiento del planeta pasan por un uso más eficaz de la energía y unos combustibles menos contaminantes, lo que se convertiría en un obstáculo para sus actuales operaciones comerciales.

Avances científicos internacionales

1990. Agosto primer informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de los impactos y las respuestas de la ciencia y la política al cambio climático. Sirve como base para la negociación del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

1995. El IPCC finaliza su segundo informe de evaluación.

2001. De enero a marzo. Los gobiernos concluyen la aprobación y adopción final del tercer informe de evaluación del IPCC. Este informe contiene la conclusión del primer consenso científico global en firme que identifica la acción del hombre en la alteración del clima mundial. El informe adjunta a la actividad humana “la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años”, a través de actividades que han aumentado los niveles de gases de efecto invernadero. Los científicos adjudican al calentamiento del globo cientos de cambios observados en sistemas físicos y biológicos.

Principales avances políticos

1992. 9 de mayo. Se adopta el Convenio Marco de la ONU sobre el cambio climático en la sede de la ONU en Nueva York.

1992. 4 de junio. Se abre el Convenio para su firma en la cumbre de la Tierra, Herat Summit (conferencia de la ONU sobre desarrollo y medio ambiente), celebrado en Río de Janeiro. Los líderes políticos mundiales acuerdan fijar el objetivo de volver a los niveles de emisión CO₂ de 1990 para 2000.

1994. 21 de marzo. El Convenio entra en vigor. Su “objetivo final” (artículo 2) es evitar una “interferencia” peligrosa con el sistema climático amenace la naturaleza, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico.

1995. Los gobiernos se reúnen para la primera conferencia del convenio de participantes Convention’s Firts Conference of Parties (COP1) en Berlín. El convenio les obliga a considerar si el acuerdo alcanzado por los líderes mundiales en Río es el adecuado para evitar el peligroso cambio climático. Concluyen con la necesidad de emprender más acciones. En vez de acordar objetivos más duros, crean un nuevo mandato para dos años con más debates sobre lo que va a ser el **Protocolo de Kyoto**.

1997. 11 de diciembre. Los gobiernos en la COP3, en Kyoto (Japón), adoptan el texto del Protocolo.

1998. 16 de marzo. Se abre el texto del Protocolo de Kyoto para su firma en la sede de la ONU en Nueva York.

2000. 25 de noviembre. Tras dos semanas de debate, las negociaciones se estancan en la Haya y Luxemburgo.

2001. 13 de marzo. El presidente Bush presenta el Protocolo de Kyoto en una carta a los Senadores de los EEUU. Una semana después, la administración americana declara el Protocolo “muerto”.

2001. 14 de junio. La cumbre UE – EEUU finaliza con el acuerdo de los líderes de la EU para seguir adelante con Kyoto, con la ausencia de los EEUU, que acuerdan no impedirlo, eliminando así los temores de fracaso para el Protocolo de Kyoto.

2001. 23 de julio. Se retoma la conferencia estancada en noviembre de 2000; 180 países firman el Acuerdo de Bonn, abriendo una puerta para completar los detalles legales del **Protocolo de Kyoto**.

2001. 10 de noviembre. Los gobiernos finalizan los detalles legales y de funcionamiento del protocolo en Marrakech, abriendo una puerta hacia la ratificación.

2002. 25 de septiembre. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (World Summit on Sustainable Development), Johannesburgo, Sudáfrica.

2002. El Protocolo de Kyoto entrará en vigor

2005. El Protocolo necesita que los gobiernos demuestren que están haciendo “progresos demostrables” hacia la consecución de los objetivos de Kyoto.

2008 – 2012. “Primer periodo de compromiso” del Protocolo de Kyoto, en el que las emisiones globales de los países industrializados deben reducirse en un 5% por debajo de los niveles de 1990.

Emisiones de CO₂ y progreso de los países industrializados hacia la ratificación

En la Tabla V aparecen las emisiones totales de dióxido de carbono por parte de los países recogidos en el anexo I (Industrializados en 1990 con respecto a la entrada en vigor del Protocolo bajo el Artículo 25, sus porcentajes de las emisiones totales de CO₂ del anexo I y comentario sobre el progreso hacia la ratificación).

TABLA V. EMISIONES TOTALES DE DIÓXIDO DE CARBONO

País	Emisiones de CO₂ en 1990 (mill ton)	% de emisiones CO₂ del anexo I	Estado de la ratificación
Alemania	1,012,443	7,375	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Australia	288,965	2,105	El gobierno dice que no ratificará hasta que no lo haga EEUU.
Austria	59,200	0,431	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Bélgica	113,405	0,826	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Las cámaras federales de Bélgica ya han aprobado el texto.
Bulgaria	82,990	0,605	A la espera de más detalle.
Canadá	457,441	3,332	El primer ministro Chrétien declaró que el acuerdo alcanzado en Bonn abre el camino para la ratificación del Protocolo de Kyoto por parte de Canadá.
Dinamarca	52,100	0,380	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. El parlamento ya ha aprobado la ratificación.
Eslovaquia	58,278	0,425	A la espera de más detalle.
España	260,654	1,899	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Concluyendo su plan nacional para la incorporación Aprobado en Consejo de Ministro y enviado a las cortes para su ratificación el 1 de febrero de 2002.
EEUU	4,957,022	36,108	Continúa su oposición al Protocolo de Kyoto.
Estonia	37,797	0,275	El parlamento de Estonia gestiona para ratificar en el 2do semestre de 2002. En enero se emitirá una carta explicativa a los miembros del parlamento acompañando la ley de ratificación.
Fed. Rusa	2,388,720	17,400	Hasta ahora no se ha emitido ninguna declaración oficial sobre la ratificación. El respaldo entre las empresas, la ciudadanía y los medios de comunicación está aumentando. Puede que la decisión clave por parte

			del presidente se produzca en abril o después.
Finlandia	53,900	0,393	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Concluyendo su plan nacional para la incorporación.
Francia	366,536	2,700	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. El parlamento ya ha aprobado por ratificación.
Grecia	82,100	0,598	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Concluyendo su plan nacional para la incorporación.
Holanda	167,600	1,221	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Hungría	71,673	0,522	A la espera de más detalle.
Irlanda	30,719	0,224	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Islandia	2,172	0,016	A la espera de más detalle.
Italia	428,941	3,125	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Italia es, seguramente, el mayor obstáculo para la ratificación a tiempo de la EU.
Japón	1,173,360	8,547	El primer Ministro Koizumi anunció el 12 de noviembre de 2001 que Japón iniciaría todas las preparaciones para la ratificación en 2002. La sección que comenzó el 21 de enero y que se prolongará hasta junio, tiene la ratificación de Kyoto como punto importante de la agenda.
Letonia	22,976	0,167	A la espera de más detalle.
Liechtenstein	0,208	0,002	A la espera de más detalle.
Luxemburgo	11,343	0,083	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Mónaco	0,071	0,001	A la espera de más detalle.
Noruega	35,533	0,259	El plan para la ratificación se debatirá en la sección de primavera del parlamento. La ratificación se espera para antes del 21 de junio.
N. Zelanda	25,530	0,186	El gobierno ha indicado su intención de ratificar el Protocolo de Kyoto en el comienzo de la Cumbre de Johannesburgo. Ha elaborado un proceso de consulta y la aprobación de una legislación primaria para los próximos nueve meses.

Polonia	414,930	3,022	A la espera de más detalle.
Portugal	42,148	0,307	El consejo de Ministro ha aprobado el texto de la ratificación, a la espera de al firma presidencial que está en situación pro forma. Concluyendo su plan nacional para la incorporación. Se presentó una versión preliminar del programa portugués sobre el clima el 18 de diciembre de 2001.
Reino Unido	584,078	4,255	RATIFICADO, 15 de noviembre de 2001.
Rep. Checa	169,514	1,235	RATIFICADO, 19 de marzo de 2001.
Rumania	171,103	1,246	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Concluyendo su plan nacional de incorporación decisión tomada para ir más allá de los objetivos de Kyoto y cumplirlos únicamente por medio de la acción nacional.
Suecia	61,256	0,446	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio.
Suiza	43,600	0,318	La administración publicará un primer borrador del texto en febrero, manteniendo vista en marzo ante la sesión parlamentaria, en junio de la cámara segunda mantendrá conversaciones en la sesión de septiembre.
UE	3,326,423	24,230	Planes para ratificar con la EU el 14 de junio. Estados Miembros de la EU. El 29 de octubre de 2001 el Environment Council de la EU (Consejo para el medio Ambiente acordó un paquete de medidas que consistía en instrumentos para la ratificación.
Total	13,728,306	100.0	

Lista de 25 países prioritarios elaborada por WWF/ Adena, par la ratificación del protocolo de Kyoto

Los impactos del cambio climático afectarán cada vez más a nuestras vidas. Es imprescindible que cada gobierno tome parte para combatir el calentamiento del planeta y, como mínimo, apoye y ratifique el Protocolo de Kyoto.

El impedimento clave para que el Protocolo entre en vigor no es el número de ratificaciones sino garantizar que los países que lo ratifiquen sean contaminantes significativos y que superen el 55% de las emisiones de CO₂ incluido en el artículo 25 del protocolo. A corto plazo y desde una perspectiva estrictamente técnica y legal, la ratificación por parte de algunos países es más importante que la de otros.

A continuación en orden descendente de emisiones de CO₂ está la lista elaborada por WWf/ Adena de países cuya ratificación del Protocolo de Kyoto es esencial para garantizar que el acuerdo pueda entrar en vigor en el año 2002. En la acción de **Súmate a Kyoto**, estos son los países que no deben quedarse atrás; podrían ser culpados de bloquear los esfuerzos globales para combatir un problema de gran calado social. Sería suficiente con la ratificación por parte de varias agrupaciones de los países que aparecen en esta lista.

Los EEUU quedan excluidos de la lista debido a la oposición al tratado por parte de la administración de Bush. Al igual que Australia, pues su gobierno ha declarado que no ratificará el tratado hasta que los EEUU lo hagan. Ucrania importante emisor de CO₂ queda excluida según los términos del Protocolo por no haber presentado su “primer comunicado nacional” con sus datos de emisión antes del 11 de diciembre de 1997.

Rumania y la República Checa no están incluidas por un motivo bien diferente: ya han ratificado el Protocolo.

Si alguno de los grandes emisores de CO₂ (la Unión Europea, Rusia y Japón) no ratifican, será imposible que el tratado de Kyoto entre en vigor, independientemente de la ratificación de cualquier otro país.

Los 25 países de la lista, por orden decreciente de emisiones de CO₂ son:

1. La Comunidad Europea y sus 15 Estados Miembros (Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Finlandia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Portugal, España a punto de ratificarlo, Suecia y Reino Unido).
2. Federación Rusa.
3. Japón.
4. Canadá.
5. Polonia.
6. Bulgaria.
7. Hungría.
8. Suiza.
9. Estonia.
10. Noruega.

Compromiso mínimo para asegurar la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto

El 55% del límite de emisiones de CO₂ puede superarse de diversas maneras. La Tabla VI describe tres permutaciones mínimas. Como ya se ha señalado, la República Checa y Rumania ya han ratificado y el respaldo de la UE, Rusia y Japón es esencial. Hay, por tanto, varias opciones según los países que se sumen a la ratificación.

TABLA VI. PERMUTACIONES MÍNIMAS

	% de las emisiones del anexo I CO ₂ de 1990	% Acumulativo
Opción A		
República Checa +	2,481	2,481
Rumania		52,658
UE + Rusia + Japón +	50,177	55,990
Canadá	3,332	
Opción B		
República Checa +	2,481	2,481
Rumania		52,658
UE +- Rusia + Japón +	50,177	55,680
Polonia	3,022	
Opción C		
República Checa +	2,481	2,481
Rumania		52,658
UE + Rusia + Japón	50,177	53,263
Bulgaria	0,605	53,253
Hungría	0,522	53,785
Eslovaquia	0,425	54,210
Suiza	0,318	54,538
Estonia	0,275	54,803
Noruega	0,259	55,062

BALANCE TÉRMICO ECONÓMICO

Partiendo de la definición de combustión: que es la combinación rápida de una sustancia con oxígeno y que desarrolla calor, aumentando la temperatura.

El combustible usado esta formado por C (carbono), H (hidrógeno) y S (azufre) y reaccionan de la siguiente manera:

a) Carbono



o sea, con el peso atómico del carbono = 12 y el del oxígeno = 16, tenemos que:

12 kg de C necesitan 32 kg de O

1kg de C necesita $32/12 = 2.67$ kg de O

De igual modo:

12 kg de C forman $12 + 32 = 44$ kg de CO_2 (anhídrido carbónico)

1 kg de C forma $44/12 = 3.67$ kg de CO_2

b) Hidrógeno



4 kg de H necesitan 32 kg de O y forman $4 + 32 = 36$ kg de H_2O

1 kg de H necesita $32/4 = 8$ kg de O

c) La reacción del azufre ($S + O_2 = SO_2$) no se considera, porque resulta insignificante en los cálculos industriales.

El oxígeno eventualmente contenido en el combustible participa en la reacción y viene deducido.

En un combustible en que exista:

C kg de carbono
H kg de hidrógeno
O kg de oxígeno

La cantidad teórica de oxígeno necesaria será:

$$\text{Oxígeno} = 2.67 * C + 8 * H - O \text{ kg}$$

Pero 1 kg de aire contiene 0.23 kg de oxígeno y, por lo tanto, la cantidad teórica A_t de aire es:

$$A_t = (2.67 * C + 8 * H - O) / 0.23 \text{ kg}$$

No es posible quemar bien el combustible con la sola cantidad teórica de aire: la cantidad efectiva de aire A_e se encontrará multiplicando la cantidad teórica por un factor β que recibe el nombre índice de exceso de aire:

$$A_e = \beta * A_t = (2.67 * C + 8 * H - O) / 0.23 \text{ kg}$$

El coeficiente β varía de

$\beta = 1.0$ a 1.1 para combustibles gaseosos

$\beta = 1.1$ a 1.2 para combustibles líquidos

$\beta = 1.5$ a 2.0 para combustibles sólidos

De todo lo expuesto resulta evidente la necesidad de disponer de buenos combustibles y de hornos bien contruidos. Por consiguiente, las fundiciones deben establecer una comprobación continua de los órganos de combustión y de los combustibles a fin de operar en condiciones óptimas.

Los combustibles se caracterizan por su análisis químico y por su poder calorífico.

Combustión con oxígeno

Debido a que se prescinde de la presencia del nitrógeno en esta operación, se realiza la combustión con 790 m³ del mencionado gas por lo que la optimización que se obtiene es de un 70% en rendimiento calorífico (1800 °C vs 2800 °C) que marca la diferencia.

De lo anterior se deducen los beneficios económicos y operativos empleando el oxígeno.

4

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Obviamente se tienen ventajas y desventajas, como todos los demás hornos, pero se debe adecuar a los procesos de fabricación de acuerdo a los equipos que se tengan y la capacidad de moldeo, es decir balancear los dos procesos, fusión y moldeo, vaciando todos los moldes que están produciendo.

Las grandes ventajas de la oxi - combustión se mencionan a continuación:

- Excelente control químico y metalúrgico
- Baja contaminación ambiental
- Costos muy competitivos
- Facilidad de operación
- Mínimo mantenimiento
- Ahorro de combustibles
- Disminución en el tiempo de fusión
- Baja oxidación de los principales elementos
- Aumento en la temperatura de vaciado o colado
- Fácil y rápida la carga de chatarra
- Escoriado simple y rápido
- Facilidad en medir la temperatura del hierro
- Determinaciones químicas antes del vaciado

Esta nueva tecnología de combustión patentada ya se beneficia de un valor industrial confirmado por su explotación regular en varios países:

1. Mejora en un 40% de la velocidad de fusión de la fundición respecto a los hornos rotatorios clásicos.
2. Reducción del consumo de combustible en un 30% aproximadamente.
3. Estabilización o reducción de las pérdidas al fuego del Carbono, del Silicio y del Manganeso.
4. Prolongación de la duración de la vida del refractario, más de 600 fusiones.

-
-
5. Conservación de las excelentes propiedades mecánicas de las fundiciones obtenidas en el horno rotatorio.

Como única desventaja se señala que para el proceso de recarburización es preciso dotarlo de inyectores de grafito distribuidos estratégicamente, ya que la revolución indicada para este proceso es de 1 vuelta por minuto.

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado son las siguientes:

- En primer lugar se puede afirmar que el proceso es válido tanto para la obtención de fundición de hierro gris y nodular y que las características obtenidas son adecuadas a las que de estos materiales se solicita.
- A nivel de las cargas sólidas introducidas en el horno, no parece problemática la diferente distribución en porcentajes de lingote, retornos y acero; de este último material sí hay que decir que interesan trozos de pequeño tamaño, por la limitación de la boca de carga, y de buena superficie específica, para acelerar la velocidad de fusión y reducir el consumo energético.
- Las pérdidas al fuego correspondientes a los elementos principales involucrados en los materiales metálicos son relativamente altas en Carbono y más altas en Silicio y Manganeseo (este último debido también al revestimiento ácido del refractario). Se consigue una reducción importante de estas pérdidas introduciendo antracita como protección (atmósfera reductora de CO) y sílice + caliza para fluidificar la escoria protectora (y permitir la introducción de aditivos en el baño líquido si se desea).
- El aporte de aditivos, ensayado de tres formas diferentes, parece indicar un mejor rendimiento en los casos de introducirse en el metal líquido (sobre todo en la olla) pero presentan los inconvenientes de pérdida de temperatura y posibles heterogeneidades (sobre todo con lanza de inyección).
- Hasta el momento sólo se ha trabajado con las condiciones de llama sugeridas por el fabricante del quemador, quedando pendiente la realización de ensayos con distintas condiciones.
- Los análisis de gases disueltos en el metal no son, por ahora, preocupantes en cuanto a la posible generación de defectos.
- El ciclo completo de fusión es muy variable, dependiendo sobre todo del estado del horno, de la demanda de metal requerido por la línea de moldeo (velocidad de vaciado) y de la temperatura óptima de colada. De todas formas, el horno en sí, estando caliente, podría fundir las 3 ton en 1,50 horas aproximadamente.

-
-
- Los consumos de gas natural y oxígeno, trabajando en continuo y sin largas paradas de mantenimiento, son aceptables y en cuanto a costos de energía primaria este sistema es mejor que el cubilote (con depuración de humos) y el horno de inducción.

BIBLIOGRAFÍA

D. MORIGNOT, NOUVELLE GAMME DE FOURS ROTATIFS, HOMMES ET FONDERIE, SEPTEMBRE 1989.

GARCÍA VEGAS FRANCISCO, METALURGIA Y ELECTRICIDAD N° 628, DICIEMBRE 1990, N° 639, DICIEMBRE 1991.

J.R. GURIDI ET A. ARRIARAN, METALLURGICAL OPTIMIZATION AND UNIVERSALIZATION TO USE THE OXIGAS FURNACE, JUIN 1989.

SMF REVISTA MOLDEO Y FUNDICIÓN No. 120 ENE-FEB. 1998.