

REFRACTARIOS USADOS EN PLANTA DE PELETS

Dr. Ing. Nelson Santander
Profesor Jornada Completa
del Departamento de Metalurgia
de la U.T.E.



1. INTRODUCCION

Con el agotamiento progresivo de fuentes naturales de minerales de fierro de leyes suficientemente elevadas como para cargar éstos directamente en los altos hornos, ha ido tomando un auge creciente la concentración de minerales no tan ricos, lo que genera un concentrado fino que es imprescindible someter a peletización y endurecimiento, previo a su utilización en los hornos de reducción.

En la actualidad, la única planta de peletización y endurecimiento que existe en Chile es la que posee CAP en Huasco. En dicha planta, el mineral preconcentrado y molido se concentra magnéticamente en húmedo y se aglomera en verde en forma de bolitas conocidas con el nombre de pelets.¹

En lo que aquí nos preocupa, podemos decir que el tratamiento pirometalúrgico que sufren a continuación los pelets involucra 3 alteraciones que es fundamental tener presente al analizar los equipos que en ellas ocurren: secado, oxidación y endurecimiento. El equipo de alta temperatura en que se llevan a cabo estas transformaciones está constituido por 3 unidades básicas:

- a) Una parrilla móvil para el secado y el precalentamiento de los pelets.
- b) Un horno rotatorio para el endurecimiento de los pelets.
- c) Un enfriador anular de la carga de pelets.

Se trata aquí de un equipo Allis-Chalmers capaz de producir 3.500.000 t/año, que se puso en funcionamiento en 1979. Las 3 unidades básicas emplean materiales refractarios convencionales, siendo hecho el revestimiento refractario inicial de dichas unidades, con refractarios fabricados por la firma japonesa Shinagawa.²

Es el objetivo del material que sigue a continuación efectuar un análisis de los equipos de alta temperatura utilizados en la planta de pelets de Huasco, estudiar sus revestimientos, y analizar finalmente los consumos en cuanto a materiales refractarios se refiere.

2. EQUIPOS

En la literatura correspondiente^{3,4} pueden encontrarse varios tipos de equipos normalmente utilizados en el tratamiento de los pelets a elevada temperatura, sin embargo, en lo que sigue restringi-

remos el estudio sólo a aquellos equipos que dispone CAP en su planta de Huasco.

La materia prima que se somete a tratamiento en estas unidades es una carga de pelets verdes muy ricos en Fe_3O_4 y que llevan como aditivo CaO dosificada de tal manera de dar una proporción $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.5$.

2.1 Parrilla Móvil:

Esta primera unidad es de 4,71 m de ancho por 55,5 m de largo, con área efectiva de trabajo de 230 m^2 , y formando una capa de 18 cm de espesor. Para los efectos de su operación puede dividirse en 3 zonas:

- Zona de secado ascendente mediante aire precalentado a 370°C . Los pelets en esta zona llegan hasta 120°C , eliminándose un 50% de la humedad.

2.2 Horno Rotatorio:

Este es un gigantesco cilindro de acero revestido completamente en su interior por material refractario. Sus dimensiones principales son 6,4 m de diámetro y 50 m de largo, operando ligeramente inclinado (pendiente de 5%), en forma continua y en contracorriente. En su extremo de descarga opera un potente quemador a petróleo, que calefacciona esta unidad.

El objetivo de este horno es dar a los pelets características de resistencia mecánica que permitan su manipulación, transporte y cargado a los hornos de reducción. El horno gira a unas 2 RPM y la carga va descendiendo progresivamente a lo largo del horno aumentando su temperatura hasta los valores prefijados. El tratamiento térmico que recibe la carga es bastante uniforme debido a la

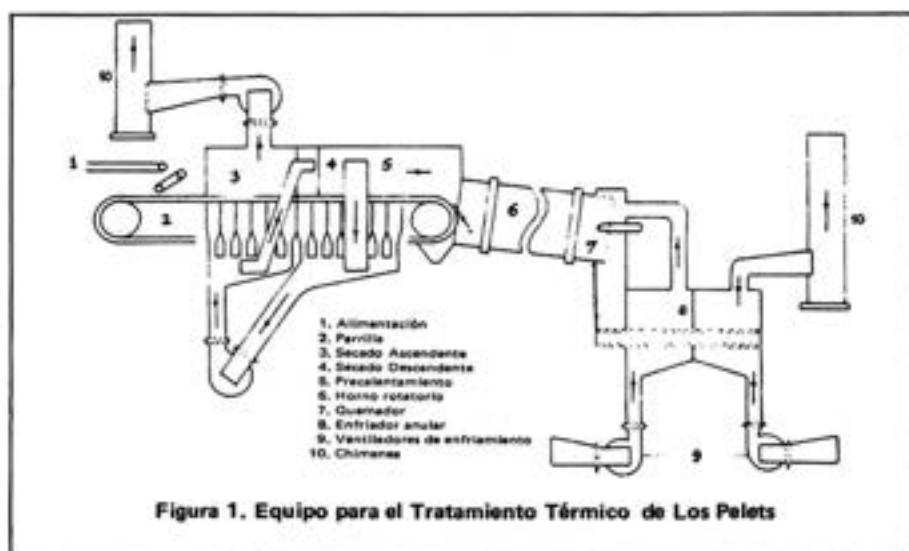


Figura 1. Equipo para el Tratamiento Térmico de Los Pelets

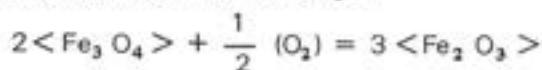
- Zona de secado descendente mediante aire precalentado a 370°C . Los pelets abandonan esta zona totalmente secos y alcanzan una temperatura aproximada a los 290°C .
- Zona de precalentamiento mediante la circulación de aire a 1.100°C en forma descendente. A la salida de esta zona los pelets van a 1.000°C .

En las zonas (ii) y (iii) ocurre un 70% de la reacción de oxidación de la magnetita del mineral a Fe_2O_3 , óxido que facilita la formación de la liga cerámica de los pelets.

En general, se puede decir que el objetivo de la parrilla es dar condiciones de estabilidad física a los pelets de modo que sean capaces de soportar el trabajo mecánico a que son sometidos al pasar por el horno rotatorio.

La Figura 1 nos muestra esquemáticamente el sistema de flujos de aire y de gases en un equipo análogo al de Huasco.

permanente revolución de ella. Aquí sólo ocurre un 50% de la reacción a Fe_2O_3 . Desde el punto de vista químico, podemos decir, que la hematita generada en la parrilla móvil según:



da origen a ferrita cálcica en la interfase fundente/mineral según:



y esta película es capaz de originar fases líquidas a $\sim 1.200^\circ\text{C}$ tal como muestra la Figura 2⁵, e incluso a temperaturas inferiores si se piensa que la sílice participa para formar una fase silicato que constituye el ligante cerámico del pelet. El pelet ya en el horno rotatorio comienza a generar escoria. Dada la relación $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.5$ puede decirse que el pelet es autofundente.

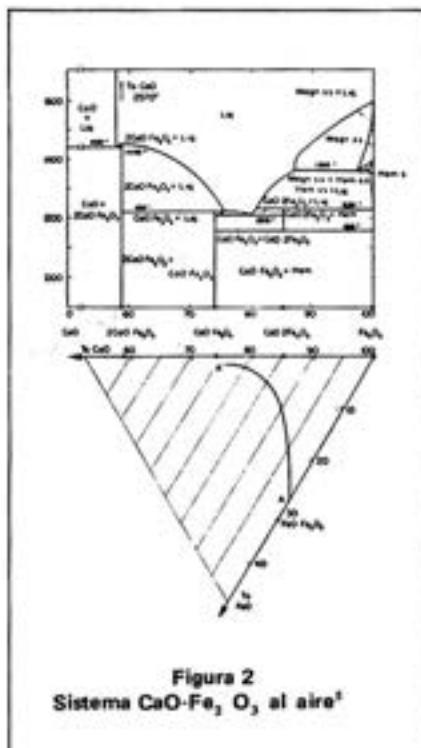


Figura 2
Sistema CaO-Fe₂O₃ al aire¹

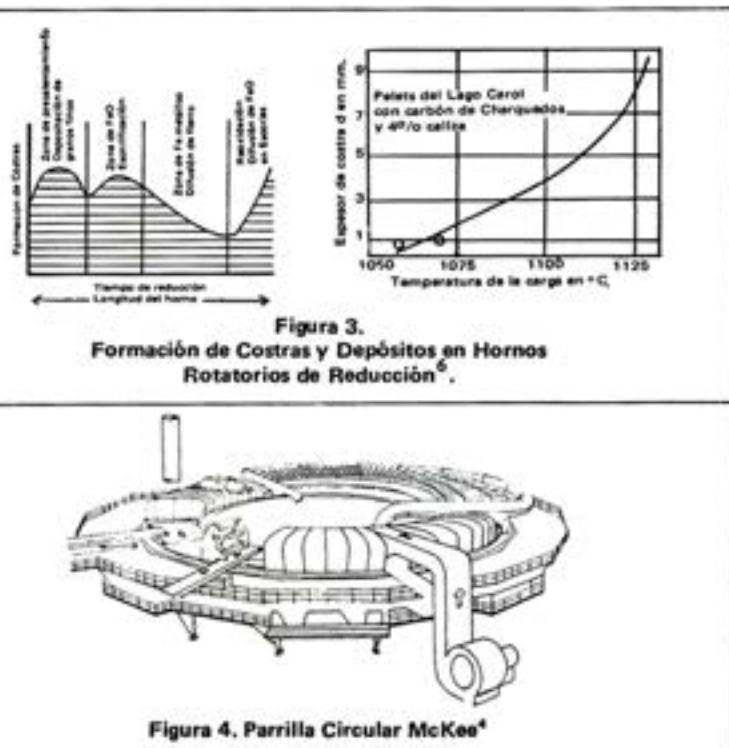


Figura 3.
Formación de Costras y Depósitos en Hornos Rotatorios de Reducción⁶.

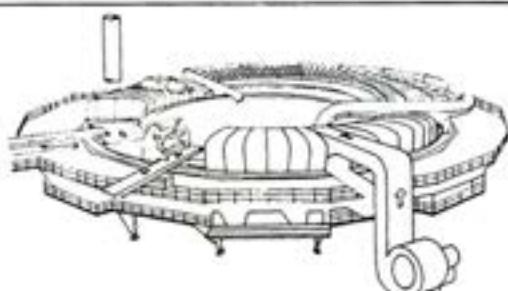


Figura 4. Parrilla Circular McKee⁴

En la zona de máxima temperatura dentro de este horno, se logra llegar a 1.340°C, temperatura suficiente como para garantizar una buena reacción de formación de la liga cerámica mediante los silicatos. Sin embargo, debido a las altas temperaturas ocurren también fenómenos indeseables. Así por ejemplo, se forman conglomerados de pelets que es necesario romperlos periódicamente en la parrilla de barras dispuesta a la salida del horno. Otro efecto nocivo también es el efecto de aglutinación de los finos a las paredes del horno originando anillos que deben ser removidos periódicamente.

A modo de ilustración comparativa, la Figura 3 muestra, las alteraciones físicas y químicas que ocurren en el perfil de un horno rotatorio de reducción directa, y también como se ve afectada la formación de costras y depósitos en función de la temperatura de la carga.⁶

2.3 Enfriador Anular:

Esta unidad es un componente inseparable del sistema, ya que de no existir, los pelets sufrirían un enfriamiento tan brusco que les originaría grietas y fracturas que los destruirían considerablemente. La geometría de esta unidad es la de un gigantesco anillo de sección rectangular, en muchos aspectos semejante a la parrilla circular del diseño McKee como la que muestra la Figura 4. La gran diferencia con la parrilla McKee es que ésta permite realizar en una sola unidad lo que en nuestro sistema efectuamos en 3.

El enfriador de Huasco tiene un ϕ medio de 18,5 m, un ancho de 2,8 m y un lecho de aprox. 70 cm de altura. El enfriamiento de los pelets ocurre aquí mediante una corriente de aire frío que atraviesa el lecho de pelets con un flujo ascendente. En esta unidad ocurre el llamado enfriamiento primario. El aire caliente que sale del enfriador se introduce como aire de combustión en el horno rotatorio.

Al salir del enfriador anular los pelets pasan a un enfriador recto de 38 m de largo donde se enfrian a aprox. 50°C mediante circulación de aire en flujo cruzado ascendente.

3. REVESTIMIENTOS

Exceptuando el piso de la parrilla móvil, y el piso del enfriador anular, el resto de la estructura interior de estas dos unidades están íntegramente protegidas por revestimientos refractarios. Está casi de más decir que todo el interior del horno rotatorio está revestido por mampostería refractiva. En lo que sigue analizaremos los revestimientos en cada unidad por separado.

3.1 Parrilla Móvil:

Tal como se aprecia en el sencillo esquema de la Figura 5, el revestimiento es bastante simple, y no ofrece problemas serios ya que las temperaturas son aún relativamente bajas, con un máximo cercano a 400°C en el secado, y de poco más de 1.000°C en el precalentamiento.

Las paredes son planas y no existe ningún

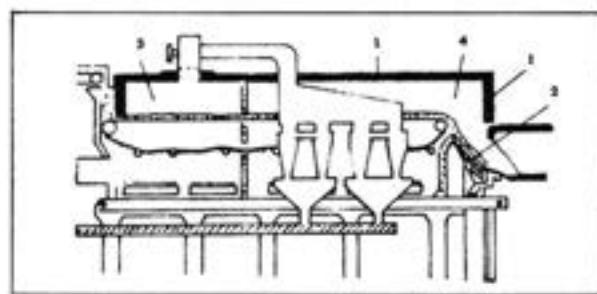
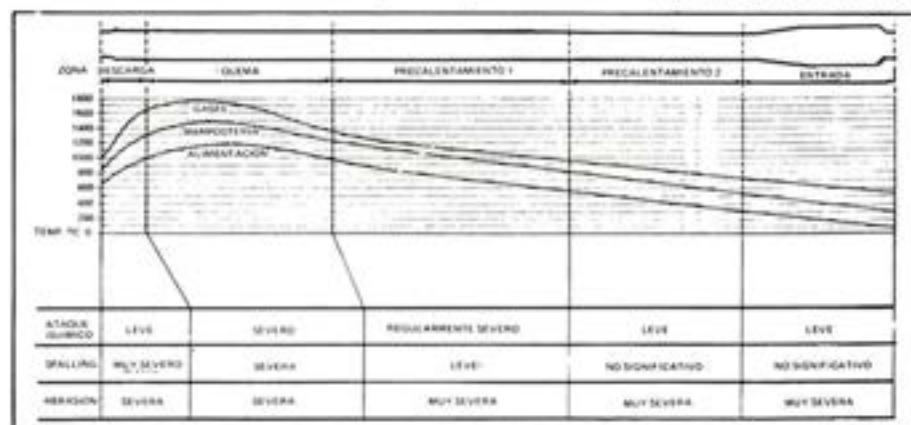


Figura 5
Revestimientos
en la parrilla móvil⁴

1. Muro y bóveda de la parrilla móvil: concreto sílico-aluminoso sobre concreto aislante.
2. Chute de descarga de los pelets: concreto aluminoso antiabrasivo.
3. Zona de secado.
4. Zona de precalentamiento.

contacto entre las paredes y los pelets. El revestimiento puede hacerse aquí proyectando concreto sílico-aluminoso hacia la pared donde se sostiene gracias a anclajes metálicos tipo Y o tipo V, y dejando una capa de concreto aislante de baja densidad entre este concreto y la chapa metálica



de la pared. En la bóveda, el revestimiento es similar, sin ser necesario el uso de bóveda suspendida. Las paredes en el caso nuestro están constituidas por ladrillos y sólo en la zona inferior donde existe roce con la carga se ha colocado concreto.

El diseño original contemplaba el empleo de plástico refractario en esta zona, pero no dio buenos resultados.

Algunos diseños incluyen un quemador extra al final de la zona de precalentamiento. En estos casos, para mayor seguridad, el revestimiento puede fijarse a anclajes cerámicos, así como también puede colocarse concreto con mayor contenido de alúmina.

La descarga de los pelets desde la parrilla hacia el horno rotatorio se hace a través de un chute revestido con refractario antiabrasivo. En el caso de la Figura 5, el chute es de concreto aluminoso, sin embargo, hay varias alternativas en cuanto a materiales: SiC sinterizado o fundido, alúmina fundida, o bien, basalto fundido.

3.2 Horno Rotatorio:

El revestimiento de este tipo de horno es diferente del de los hornos de cemento o los de cal, ya que no existen aquí ni la zona de precalentamiento ni la de calcinación, sin embargo, hay ciertas similitudes, y en general puede decirse que mucho se puede aprender de aquellos, por lo cual usaremos algunos datos de ellos, por ser más conocidos, para lograr una mejor comprensión de los rotatorios para pelets.

Los pelets entran al horno rotatorio a más de 1.000°C, variando la temperatura de la carga, de la pared, y de la llama a lo largo del horno de una manera similar a los perfiles mostrados en las zonas de la izquierda de la Figura 6, tomada de la operatoria de un horno rotatorio para cal.⁷

Junto con los perfiles térmicos que se tienen para la llama, para la pared, y para la carga, se ha seccionado el horno de modo de poder evaluar cualitativamente las 3 solicitudes más importantes en este tipo de hornos, es decir, el ataque químico, el spalling térmico, y la abrasión.⁸

Figura 6
Condiciones de Operación
Típicas en Hornos
Rotatorios para Cal⁷

En la práctica no existe un tipo de refractorio que, en forma económica pueda usarse de modo que resista todas las condiciones exigidas a lo largo del horno. Para obtener los mejores resultados se hace necesario usar refractarios específicos para cada una de las zonas. Pueden usarse ladrillos de arcilla high-duty, y en la zona de servicio más severo pueden usarse ladrillos de arcilla superduty. En el caso que las condiciones químicas y térmicas sean demasiado severas para los refractarios de arcilla, se usan revestimientos de alta alúmina o bien ladrillos básicos.⁹

El revestimiento original está hecho de ladrillos de alta alúmina resistente a la abrasión y con un espesor de ~ 23 cm. El refractario está fuertemente sometido a abrasión generada al rozar los pelets contra las paredes, y también debido al ataque del polvo, ya que los finos generados en el proceso se van aglutinando a las paredes formando anillos que es preciso remover periódicamente. La Figura 7 muestra muy esquemáticamente la formación de

anillos de desgaste en el interior del horno rotatorio.



Figura 7. Formación de Anillos de Desgaste en interior Horno Rotatorio.

Estos anillos de desgaste constituyen irregularidades muy nítidas y se supone que ha habido influencia del spalling térmico en su formación, motivado por repentinas variaciones de la llama del quemador. De hecho, en la práctica, para remover las anillas se enfria el horno, lo que genera spalling en la albañilería. En la última reparación se ha empleado en esta zona concreto refractario. A propósito, en Inglaterra se han probado con éxito las reparaciones de hornos rotatorios de cal con concretos proyectables, tal como se ve en la Figura 8.¹⁰



Figura 8. Reparación con Concreto Proyectable en Horno Rotatorio de Cal¹⁰

El deterioro provocado por los anillos de desgaste puede llegar a ser tan dramático que localmente pueden producirse deformaciones y hasta roturas de la carcasa metálica. La Figura 9 muestra cómo habría que enladrillar en forma correcta (e incorrecta) una región de palastro deformado.

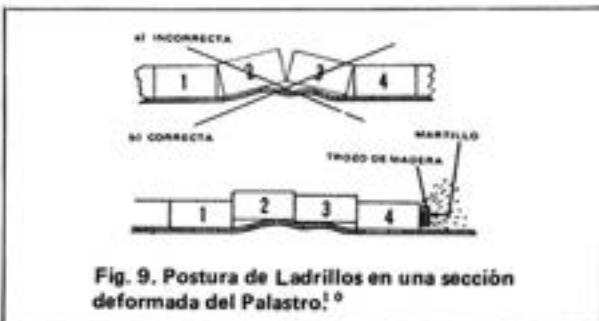


Fig. 9. Postura de Ladrillos en una sección deformada del Palastro¹⁰

El usuario debe tener presente que incluso para los mejores palastros no puede evitarse la tendencia que tiene la carcasa a tomar una forma ligeramente ovalada a medida que el horno gira.

En cuanto a los extremos del horno podemos decir que la boca de carga sigue enladrillada, pero la boca de descarga, tal como se ve en la Figura 10, se ha construido ahora con concreto refractario en el horno de Huasco, en una longitud de ~ 1,35 m.

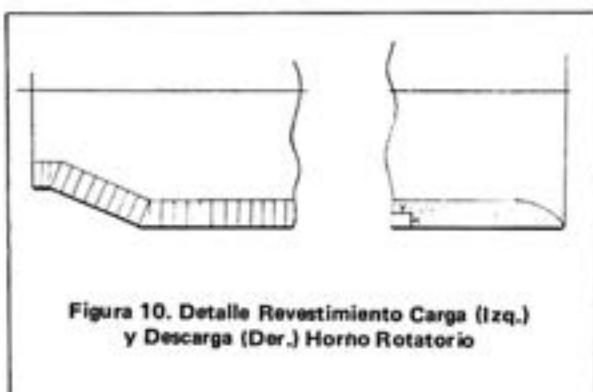


Figura 10. Detalle Revestimiento Carga (Izq.) y Descarga (Der.) Horno Rotatorio

Para mejorar la eficiencia térmica de los hornos rotatorios, y con ello obviamente ahorrar combustible, se ha empleado en muchos diseños de ellos, una capa aislante entre el palastro y el revestimiento de trabajo. Una manera de colocar los ladrillos aislantes en este tipo de construcción, es usando un panelizado radial y longitudinal de modo que las tablillas de apoyo térmico que conforman la aislación, no sufran tanto mecánicamente. Este tipo de panelizado se ilustra en la Figura 11.



Figura 11. Panelizado para el Uso de Aislación de Hornos Rotatorios¹⁰

Los revestimientos aislantes han ido evolucionando de modo que hoy existe una tendencia a usar concretos aislantes de vermiculita, disminuyendo con ello el uso de ladrillos aislantes estándar.

3.3 Enfriador Anular:

Ya se mencionó anteriormente que el piso del enfriador no va revestido en refractarios, luego son las paredes y la bóveda las que tanto en la parte más caliente como en la más fría se revisten con concreto sílico-aluminoso antiabrasivo.

Adicionalmente, y según el tipo de diseño, los equipos para el tratamiento térmico de pelets pueden llevar accesorios tales como caja de fuego para el quemador, cajas receptoras de descarga, cámaras de polvo, y retenedores de carga e intercambiadores térmicos dentro del horno rotatorio.

4. CONSUMOS

No cabe dudas que los consumos de refractarios en las plantas de pelets son relativamente muy bajos, sobre todo si se compara con los consumos de otros procesos involucrados en la Siderurgia, como se ve claramente en la Figura 12.

En EE.UU. dichos consumos son incluso más bajos debido a que las plantas utilizan normalmente gas de petróleo como combustible. Al usar petróleo se aprecia una disminución de las campañas de los hornos, ya que este combustible deja residuos que atacan al revestimiento. Igual cosa ocurre al usar carboncillo.

En general, el consumo puede clasificarse en dos categorías:

- puesta en marcha, o reparación total
- reparaciones menores, parciales, o medias.

Dicho sea de paso, dadas las dimensiones colosales de los equipos empleados, deben tomarse medidas y precauciones especiales en los desmantelamientos.

De acuerdo a los datos estadísticos de América Latina⁴ se tiene índice medios de consumo del orden de ~ 0,1 kg/t pelets. Para el caso particular de la planta de pelets de Huasco las estimaciones hechas dan un valor de ~ 0,17 kg/t pelets. Ahora

bien, las estadísticas señalan que en América Latina se consume mayor proporción de ladrillos más caros como son los básicos, en cambio, en Chile en la reciente reparación por ejemplo, no se han empleado ladrillos básicos, pero en cambio se ha hecho uso abundante de concretos refractarios y ladrillos sílico-aluminosos.

REFERENCIAS

- ANONIMO, "Complejo Minero-Industrial del Huasco", p.1-26, CAP-Vallenar, (1978).
- ANONIMO, Catálogo Técnico de Productos, Shingawa Refractories Co, Ltd.
- D.F. BALL et al., "Agglomeration of Iron Ores", Heinemann Educational Books Ltd., London, (1973).
- J.A. CHARTOUNI y J.V. NUNES, en "Refractories en Siderurgia de América Latina", p. 7-17, ILAFA, Santiago, (1977).
- E.M. LEVIN et al., "Phase Diagrams for Ceramists", Fig. 43, p. 49, The Am. Ceram. Soc., Columbus, Ohio, (1974).
- H.W. GUDENAU et al., Stahl u. Eisen, 99, Nº 17, p. 908-913. (1979).
- ANONIMO, "Refractories for the Lime Industry", Catálogo Técnico de GR-Stein Refractories Ltd.
- I. CACERES, "Hornos para fabricar cal", Boletín Informativo Recsa Nº 4, p. 4-16, (1976).
- ANONIMO, "Modern Refractory Practice", p. 446-453, Harbison-Walker Refractories Co., Pittsburgh, (1963).
- ANONIMO, "Insulation of Refractories in Rotary Kilns", Catálogo Técnico de GR-Stein Refractories Ltd.
- W.S. MISKA, "Refractory Use Patterns in the Iron and Steel Industry of the United States", Bureau of Mines I.C. Nº 8382.
- J.H. CHESTERS, "Refractories for Iron and Steelmaking", The Metals Soc., London (1974).

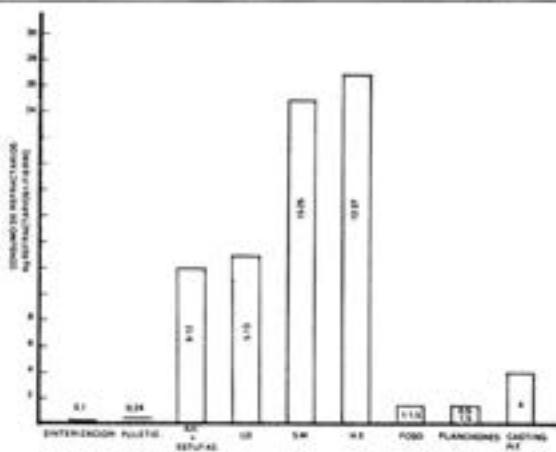


Figura 12
Consumos de Refractarios
en Procesos Siderúrgicos^{11, 12}