

The image shows two vertical, cylindrical refractory samples. The sample on the left is a uniform yellow color. The sample on the right is yellow at the bottom but has a dark, reddish-brown, porous-looking top section, indicating thermal degradation or spalling. The background is dark, and the samples are set against a light-colored, possibly metallic, base.

RHI CHILE S.A.

**COMPORTAMIENTO BAJO
GRADIENTES TERMICOS**

Refractories

The image shows two vertical cylindrical samples of refractory material. The sample on the left is a uniform yellowish-orange color. The sample on the right shows a distinct thermal gradient: the top portion is dark red, the middle is orange, and the bottom is yellow. This visualizes the effects of thermal stress and degradation under a temperature gradient.

Comportamiento bajo gradientes térmicos

Propiedades físico-químicas
relacionadas
con la temperatura y el
comportamiento
en servicio

Refractories

The background of the slide features two vertical, cylindrical refractory samples. The sample on the left is a uniform bright yellow. The sample on the right is a dark red, with a distinct horizontal band of yellow in the middle, indicating a phase change or thermal treatment effect. The samples are set against a dark, almost black background.

Efectos de la Temperatura

- Cambios de Fase
- Cambios Polimórficos
- Cristalización a partir de un vidrio
- Separación de fases sólidas
- Crecimiento de granos

Refractories

Control del Calentamiento

- Calentamientos rápidos provocan estados de no-equilibrio
- Generación de tensiones en la carcaza metálica
- Destrucción del refractario por choque térmico

Refractories

Velocidad de Calentamiento

Formato del Ladrillo

Ladrillos anchos son más proclives a la fractura

por calentamiento-enfriamiento brusco

- Calentamiento: fracturas en la parte central a corta distancia de la cara caliente

- Enfriamiento: fracturas a los costados del ladrillo

Refractories

Velocidad de Calentamiento Formato del Ladrillo

- Las tensiones máximas son directamente proporcionales a la velocidad de calentamiento
- La magnitud de la tensión está relacionada con la difusividad del refractario y el coeficiente de expansión térmica

Refractories

Juntas de Expansión

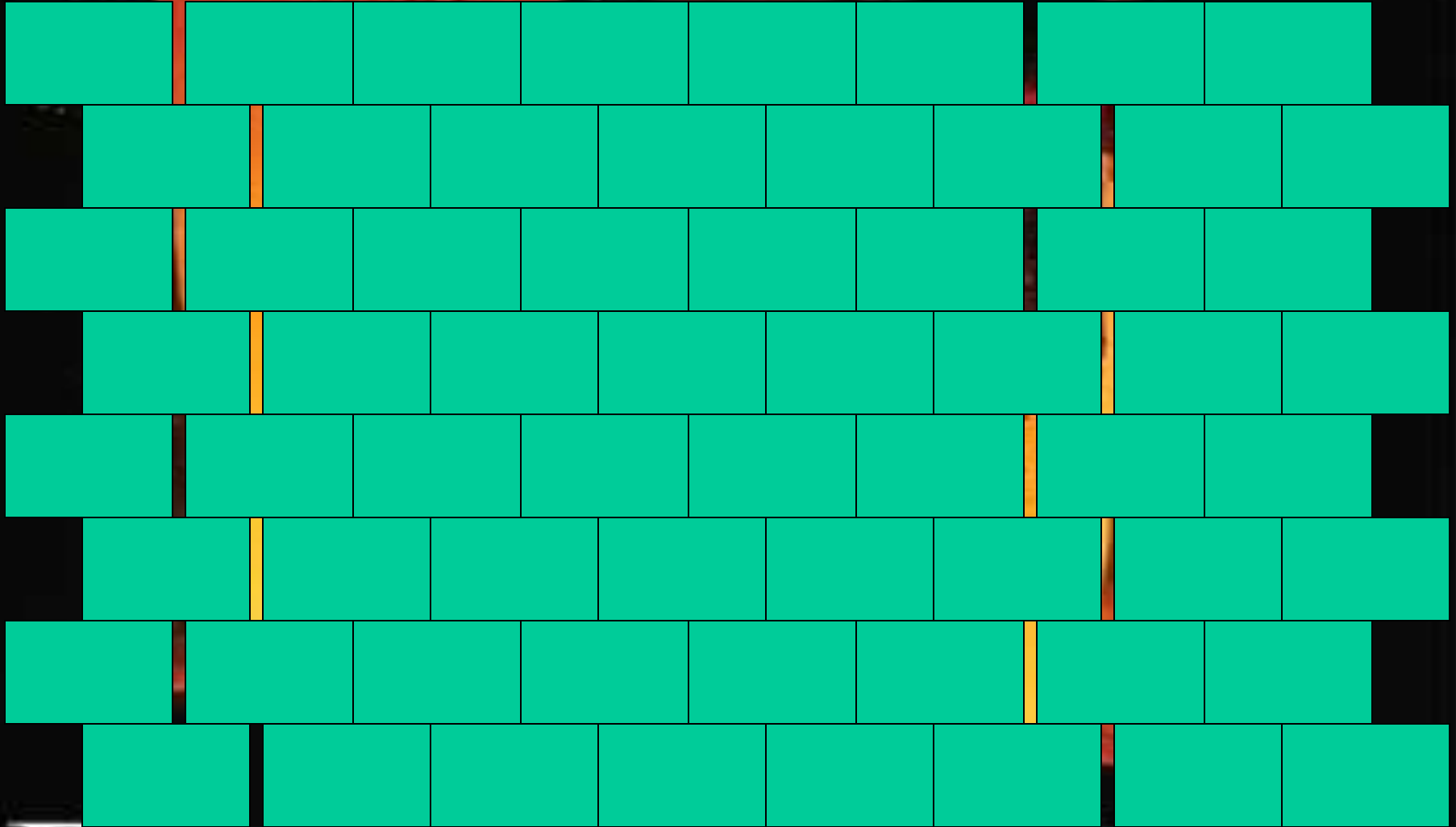
Un ladrillo sometido a temperatura tiene dos tipos de expansión

- Expansión lineal permanente
- Expansión térmica reversible

El coeficiente de expansión térmico permite diseñar la junta de dilatación adecuada.

Refractories

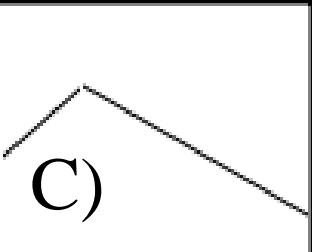
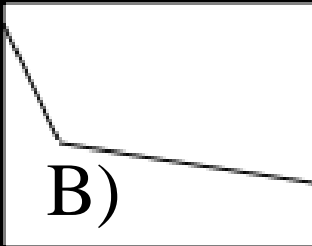
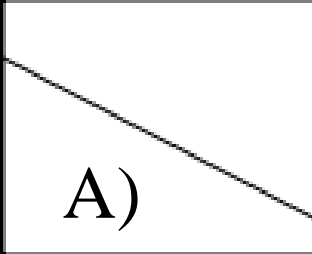
Juntas de Expansión



Refractories

Calentamiento y Enfriamiento

Efectos en el Ladrillo



Equilibrio

Calentamiento rápido

Enfriamiento rápido

Ker factories



Velocidad de Calentamiento Permitida

Brickillos Refractorios

Refractories

Velocidad de Calentamiento Permitida

- La resistencia al choque térmico está relacionada con la resistencia mecánica, difusividad y coeficiente de expansión térmica
- La diferencia de temperatura entre la cara exterior del ladrillo y el centro más frío, provoca tensiones que cuando superan la resistencia mecánica del ladrillo resultan en la aparición de una

Refractories **GRIETA**

Velocidad de Calentamiento Permitida

- El delta máximo de temperatura condiciona la velocidad máxima permisible de calentamiento ($^{\circ}\text{C}/\text{Hora}$), la que depende además del espesor del ladrillo y la difusividad
- El fenómeno está presente durante el calentamiento, así como en el enfriamiento.

Refractories

Cálculo Velocidad Permisible, °C/Hora

PROPIEDADES	LADRILLO BASICO	LADRILLO A. ALUMINA
COMPRESION (kg/cm ²)	250	392
MODULO (kg/cm ²)	50	78,4
TRACCION (kg/cm ²)	40	62,72
RAZON DE POISSON (0,25-0,3)	0,25	0,25
COEF. EXPANSION TERMICA (1/°C)	1,00E-05	8,00E-06
MODULO DE YOUNG (kg/cm ²)	150000	150000
DIFUSIVIDAD (m ² /h)	0,003	0,0025
ESPESOR REVESTIMIENTO (pulg)	9	9
MAXIMO DELTA DE TEMPERATURA ENTRE SUPERFICIE Y CENTRO	60,0	117,6
VELOCIDAD PERMISIBLE (°C/HR)	20,7	33,8

Velocidad Permisible, °C/Hora

Velocidad de Calentamiento Permitida

Espesor, pulg.	Básico	Alta Alúmina
1	1674	2734,2
2	418,5	683,6
3	186	303,8
4	104,6	170,9
5	67	109,4
6	46,5	76
7	34,2	55,8
8	26,2	42,7
9	20,7	33,8
10	16,7	27,3
11	13,8	22,6
12	11,6	19
13	9,9	16,2
14	8,5	14
15	7,4	12,2
16	6,5	10,7
17	5,8	9,5
18	5,2	8,4
19	4,6	7,6
20	4,2	6,8
21	3,8	6,2
22	3,5	5,6

Refr

Choque Térmico - Spalling



Refractories

RHI CHILE S.A.

CURVAS DE SECADO Y
CALENTAMIENTO

Refractories

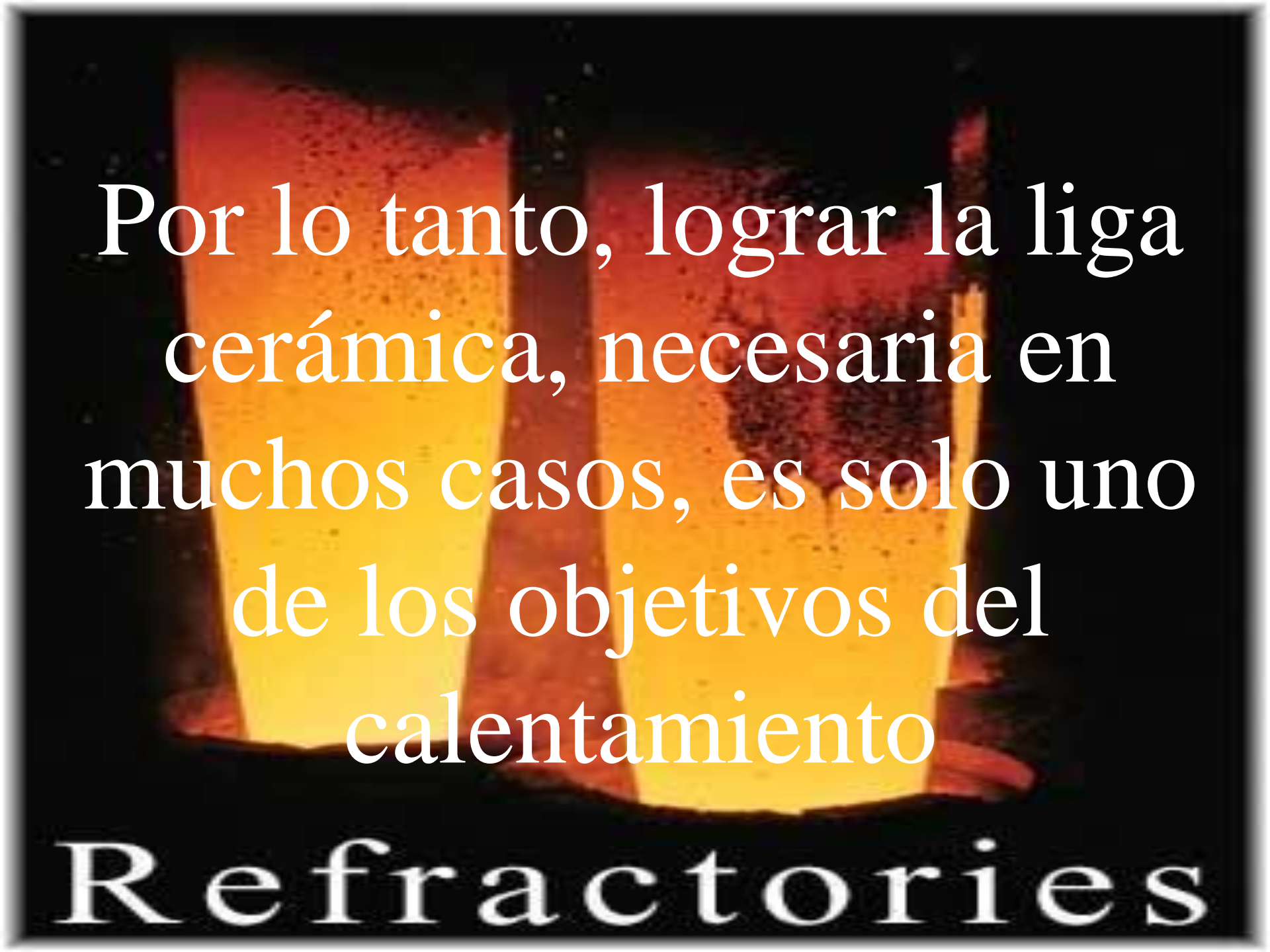
¿Por qué tener cuidado en los calentamientos?

Tanto en el calentamiento de monolíticos, como en ladrillos, hay que tener algunos cuidados.

Preguntas previas:


- ¿Que pasa si queda agua confinada en el interior del revestimiento?
- Por que el refractario explota?
- ¿Como se evita la formación de tensiones térmicas?
- Si tengo varias capas de revestimiento, ¿Como se evita que estas se separen?

Refractories



Por lo tanto, lograr la liga
cerámica, necesaria en
muchos casos, es solo uno
de los objetivos del
calentamiento

Refractories

The image features two vertical bars of different heights and colors, set against a dark background. The bar on the left is shorter and has a yellow-to-orange gradient. The bar on the right is taller and has a red-to-orange gradient. The text is overlaid on these bars.

Criterio en el
diseño de curvas
de Secado y
Calentamiento

Refractories

Criterio en el diseño de curvas de Secado y Calentamiento

Hay que tener presente las siguientes consideraciones:

- Espesor del refractario
- Cantidad de monolítico presente
- Cantidad de agua a evacuar
- Geometría del horno
- Tipo de liga presente
- Tipo de refractario presente (básico, arcilla, bajo cemento, etc)

Refractories

Consideraciones de los programas de Calentamiento

- La temperatura se refiere a los gases calientes
- Al menos una termocupla debe ser colocada donde existe peligro de sobrecalentamiento
- Se debe usar el programa mas lento cuando no se tiene totalmente controlado el calentamiento
- Revestimientos con espesores superiores a 9" requieren programas mas lentos
- Revestimientos combinados requieren programas mas lentos
- Los periodos de mantención se deben prolongar si se observa salida de vapor. Se puede continuar una vez que se está seguro que no se tiene vapor.
- Si el equipo va a ser enfriado luego del secado y calentamiento inicial, se debe llegar a la temperatura de uso y respetar los periodos de mantención

Refractories

Secado y Calentamiento de Concretos Refractarios

- Los concretos refractarios deben ser curados por un mínimo de 24 horas antes de secar y calentar el revestimiento. En climas fríos se requiere mayor tiempo de curado .
- Debido a que los concretos tienen menor permeabilidad y mayor contenido de humedad que un ladrillo, o un plástico, deben ser calentados lentamente después del periodo de curado, de esta forma la humedad escapa gradualmente. Si el concreto es calentado muy rápidamente, se genera una gran presión de vapor que puede provocar ruptura e incluso explosión del material.

Refractories

Secado y Calentamiento de Concretos Refractarios

- Curar el concreto por un mínimo de 24 horas
- Calentar lentamente para evitar agrietamiento y spalling explosivo
- No dirigir la llama directamente a la superficie del concreto
- En algunos casos, perforar la plancha metálica para dejar escapar el vapor
- El calentamiento rápido provoca cracking que se extiende a lo largo de todo el revestimiento
- Un calentamiento rápido seca la cara caliente dejando gran cantidad de humedad remanente en el resto del concreto. Esto provoca diferencias de expansión y por lo tanto agrietamiento que debilita la estabilidad del concreto.
- Usar concretos con adición de fibras orgánicas para disminuir el riesgo de agrietamiento y spalling explosivo

Refractories

Programas de Calentamiento

Concretos Refractarios

Programa 1

- Velocidad de calentamiento máxima : 56 °C/Hora
- Periodos de mantención de 1/2 hora por cada pulgada de espesor del revestimiento a los 120 °C y 260 °C.

Programa 2

- Velocidad de calentamiento máxima : 42 °C/Hora
- Periodos de mantención de 1/2 hora por cada pulgada de espesor del revestimiento a los 120 °C, 260 °C y 540 °C.

Refractories

Programas de Calentamiento

Concretos Refractarios

Programa 3

- Velocidad de calentamiento máxima : 28 °C/Hora
- Periodos de mantención de 1/2 hora por cada pulgada de espesor del revestimiento a los 120 °C, 260 °C, 540 °C y 815 °C.

Programa 4

- Velocidad de calentamiento máxima : 17 °C/Hora
- Periodos de mantención de 1/2 hora por cada pulgada de espesor del revestimiento a los 120 °C, 260 °C, 540 °C y 815 °C.

Refractories

Programas recomendados para algunos concretos

Programa 1

HW 16

HW 20

HW 22

Programa 3

High Alumina Castable

HW 33

Harchrome

Programa 2

HW Super Castable

Kilncast 26

Extra Duro

Programa 4

Castolast G Adtech

Harcast ES

Harchrome G

Refractories

Programa de Calentamiento

Plásticos Refractarios

Programa 1. Plásticos de Liga Cerámica

- Velocidad de calentamiento máxima 28 °C/Hora hasta alcanzar los 260 °C.
- Mantener una hora por cada pulgada de revestimiento
- Subir la temperatura a una velocidad de 28 °C/Hora hasta los 540 °C
- Mantener una hora por cada pulgada de revestimiento
- Calentar hasta la temperatura de operación a una velocidad no mayor a 55 °C/Hora
- Prolongar las mantenciones si se tiene vapor

Refractories

Programa de Calentamiento

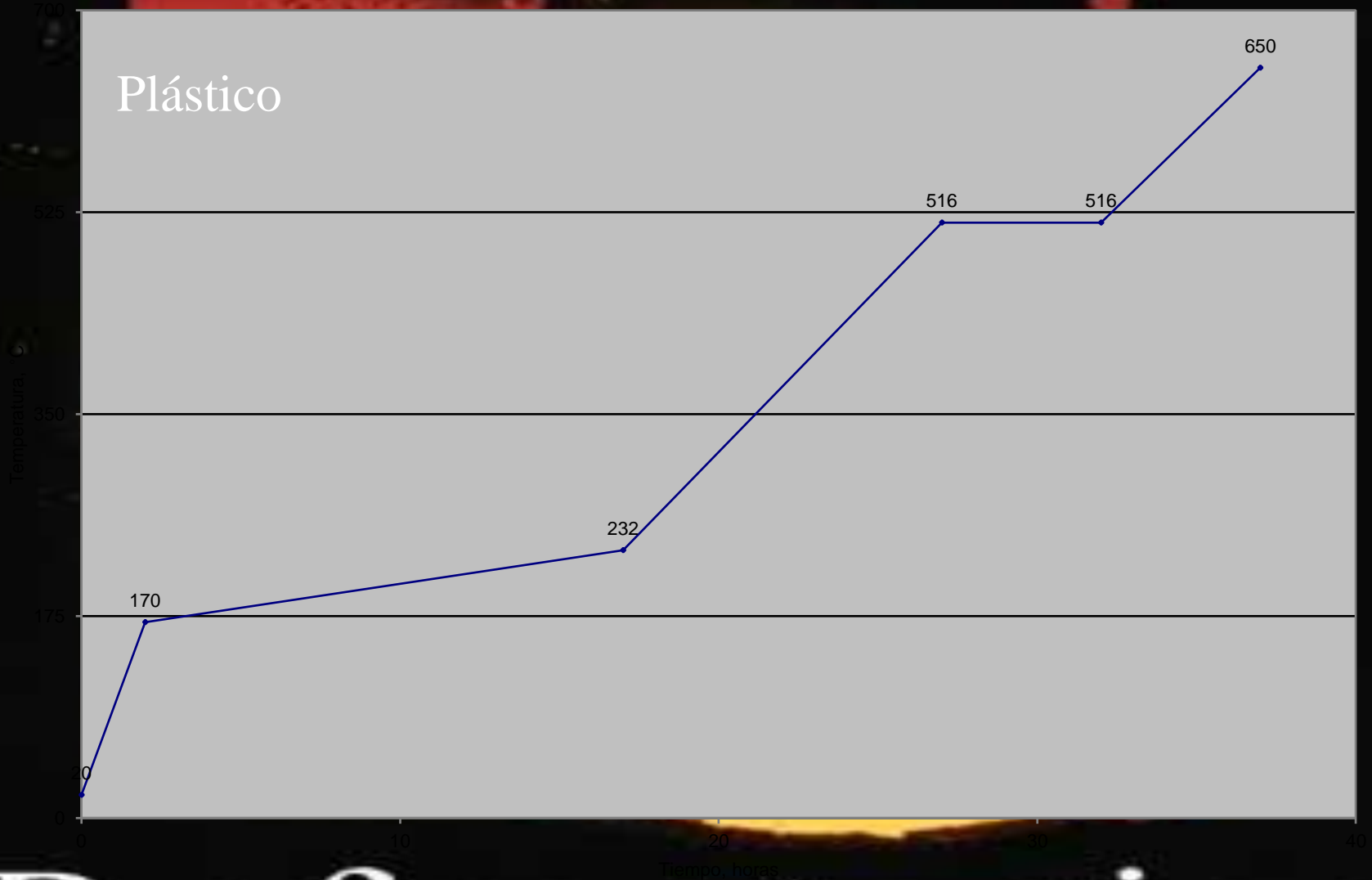
Plásticos Refractarios

Programa 2. Plásticos de Liga Fosfórica

- Velocidad de calentamiento máxima 28 °C/Hora hasta alcanzar los 121 °C.
- Mantener una hora por cada pulgada de revestimiento
- Subir la temperatura a una velocidad de 28 °C/Hora hasta los 260 °C
- Mantener una hora por cada pulgada de revestimiento
- Subir la temperatura a una velocidad de 28 °C/Hora hasta los 540 °C
- Mantener una hora por cada pulgada de revestimiento
- Calentar hasta la temperatura de operación a una velocidad no mayor a 55 °C/Hora
- Prolongar las mantenciones si se tiene vapor

Refractories

Ejemplo de Curva de Calentamiento



Refractories



S.A

Refractories