

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Programa Académico de Ingeniería
Geológica, Minera y Metalúrgica



FABRICACION DE ANODOS PARA EL PROCESO DE REDUCCION DE ALUMINIO Y DESCRIPCION DE LA REDUCCION

Titulación Profesional Extraordinaria

Para optar el Título de:
INGENIERO METALURGISTA

TITO A. RICALDI EGOAVIL

Lima . Perú
1983

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA
GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

FABRICACION DE ANODOS PARA EL PRO
CESO DE REDUCCION DE ALUMINIO Y
DESCRIPCION DE LA REDUCCION

TITULACION PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
METALURGISTA

TITO A. RICALDI EGOAVIL

LIMA - PERU- 1983

I N D I C E

1. INTRODUCCION
2. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE REDUCCION DE ALUMINIO
 - 2.1 Sala de Celdas
 - 2.2 Instalaciones Auxiliares
3. FABRICACION DE LOS ELECTRODOS ANODOS
 - 3.1 Mezcla de la Pasta
 - 3.1.1. Finos
 - 3.1.2 Medios, Gruesos y Cabos
 - 3.1.3 Desechos verdes
 - 3.2 Cálculo de las fracciones de la receta
 - 3.3 Operación de la mezcla y captación.
4. HORNOS DE COCCION
 - 4.1 Alcances
 - 4.2 Proceso de Cocción de Anodos
 - 4.3 Marcha y Operaciones en los Hornos
 - 4.4 Equipos e Instalaciones
 - 4.5 Datos de Salida
 - 4.6 Consumo de Combustible
 - 4.7 Material de Empaque
 - 4.8 Curva de Cocción
 - 4.9 Refractarios
 - 4.9.1 Tolerancias longitudinales
 - 4.9.2 Especificación de calidad para ladrillos de fosas
 - 4.10 Equipo de Gas Combustible.

1. INTRODUCCION

La obtención del aluminio primario por el método de la reducción directa se realiza actualmente en plantas donde se tenga disponibilidad de energía eléctrica barata y abundante esto es la energía hidroeléctrica. También es necesario la tenencia de yacimientos de bauxita, mineral de la alumina y planta de procesamiento de bauxita.

Por los enormes costos de inversión para la construcción, arranque y operaciones de este tipo de industria, solamente los gobiernos o poderosas -empresas son capaces de llevar adelante.

Como se sabe en estos años de recesión, esta industria se ha visto muy afectada desde 1981 que es donde los grandes productores como Reynolds, Alcoa, Kaiser, Martin Marieta en Estados Unidos, Alcan en Canadá, Pechiney en Francia, Brasil y otros se han visto obligados a cerrar total o parcialmente algunas de sus plantas, debido al alto costo de la energía y baja de los precios del metal.

Como referencia en nuestra zona, los países productores de alumina son Guyana, Trinidad, Brasil, Venezuela y aluminio primario Venezuela, Brasil y Argentina.

Considero que por estas razones a parte de no tener los recursos seguimos siendo importadores de Aluminio.

En el país no se tienen industrias de fabricación de electrodos ni servicios para fundición como son los crisoles que actualmente en el mercado tienen precios prohibitivos .

En este trabajo aparte de hacer una ligera descripción de la reducción del aluminio, muestro la fabricación y cocción de ánodos para la reducción con la idea de que el proceso puede ser usado con modificaciones si se quiere, para la industria de fabricación de electrodos, para la acería y carbones, para otro uso tales como crisoles, para la industria ferrosa y no ferrosa .

2. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE REDUCCION DE ALUMINIO

La planta en sí es un complejo, que para poder llegar al producto final-lingotes de aluminio, cuenta con una serie de facilidades , los cuales se agrupan en dos áreas básicas :

2.1 Sala de Celdas

Es el lugar donde se realiza la reducción del aluminio en las celdas electrolíticas a partir de la alumina, en un baño de sales fundidas, mediante el paso de corriente eléctrica.

Una celda electrolítica tiene en su parte baja una concha que viene a ser un receptáculo de acero, revestido interiormente por 14 bloques de cátodos rectangulares de carbón. La parte superior es ta formada por la superestructura, de donde cuelgan dos hileras de 9 ánodos (18 en total), casi sobre el cátodo, dejando el espacio necesario para el baño y almacenamiento del metal líquido.

La reducción es sencillamente, la eliminación del oxígeno de la alumina haciendo pasar una corriente eléctrica continua con intensidad aproximada de 150,000 amperios a través del baño en el que se encuentran los iones de aluminio y oxígeno provenientes del Al_2O_3

Para obtener esta descomposición la alumina, es descargada periódicamente desde una tolva en la parte superior de la celda, es disuelta en criolita fundida con aditivos, manteniéndose una temperatura cercana a los 950°C.

Este aluminio así producido se deposita sobre el cátodo, desde donde es retirado periódicamente mediante un sifón y vaciado en un crisol para ser enviado a fundición.

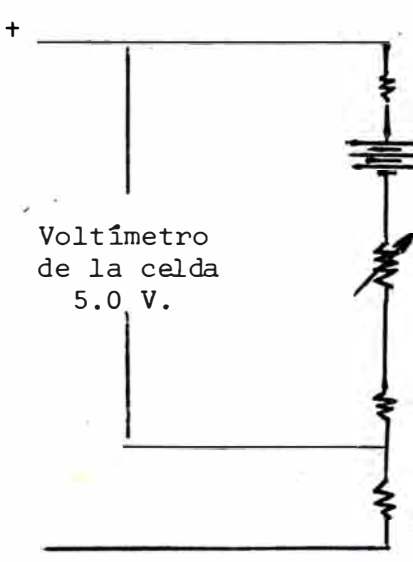
El oxígeno generado simultáneamente hace combustión con el carbón de los ánodos, desprendiéndose dióxido de carbono que va a las plantas de tratamiento de humos.

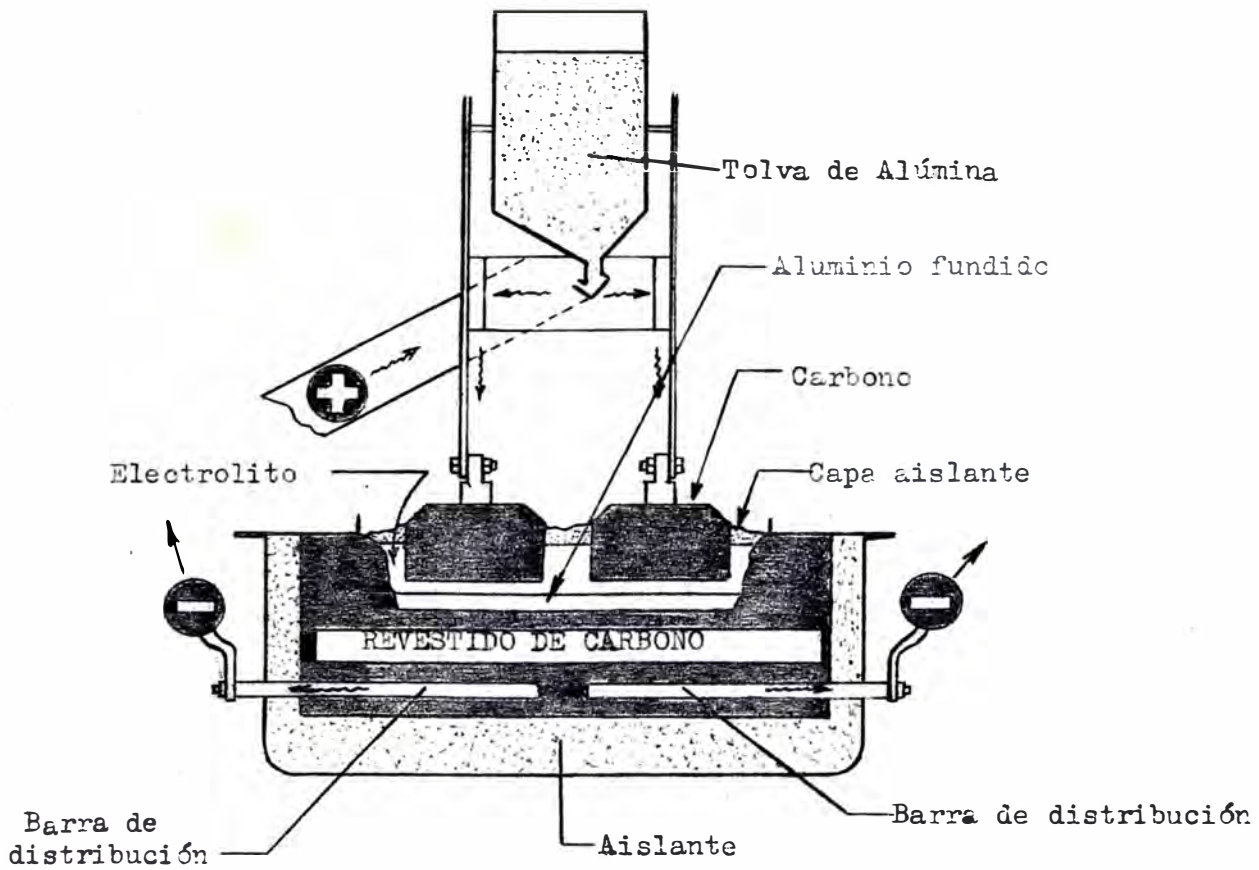
Todo este proceso es controlado mediante un computador de procesos el cual se encarga de alimentar a alumina y mantener un voltaje a proximado de 4.2 voltios para cada celda.

Una línea de celdas con 180 unidades conectadas en serie constituye un circuito cerrado a través del cual circulan 150,000 amperios. Para 1 kg. de aluminio primario se necesitan 14 KWH de electricidad.

Para convertir la corriente AC en DC y obtener el bajo voltaje requerido por la línea de celdas es usado transformadores-rectificadores de silicio en estado sólido.

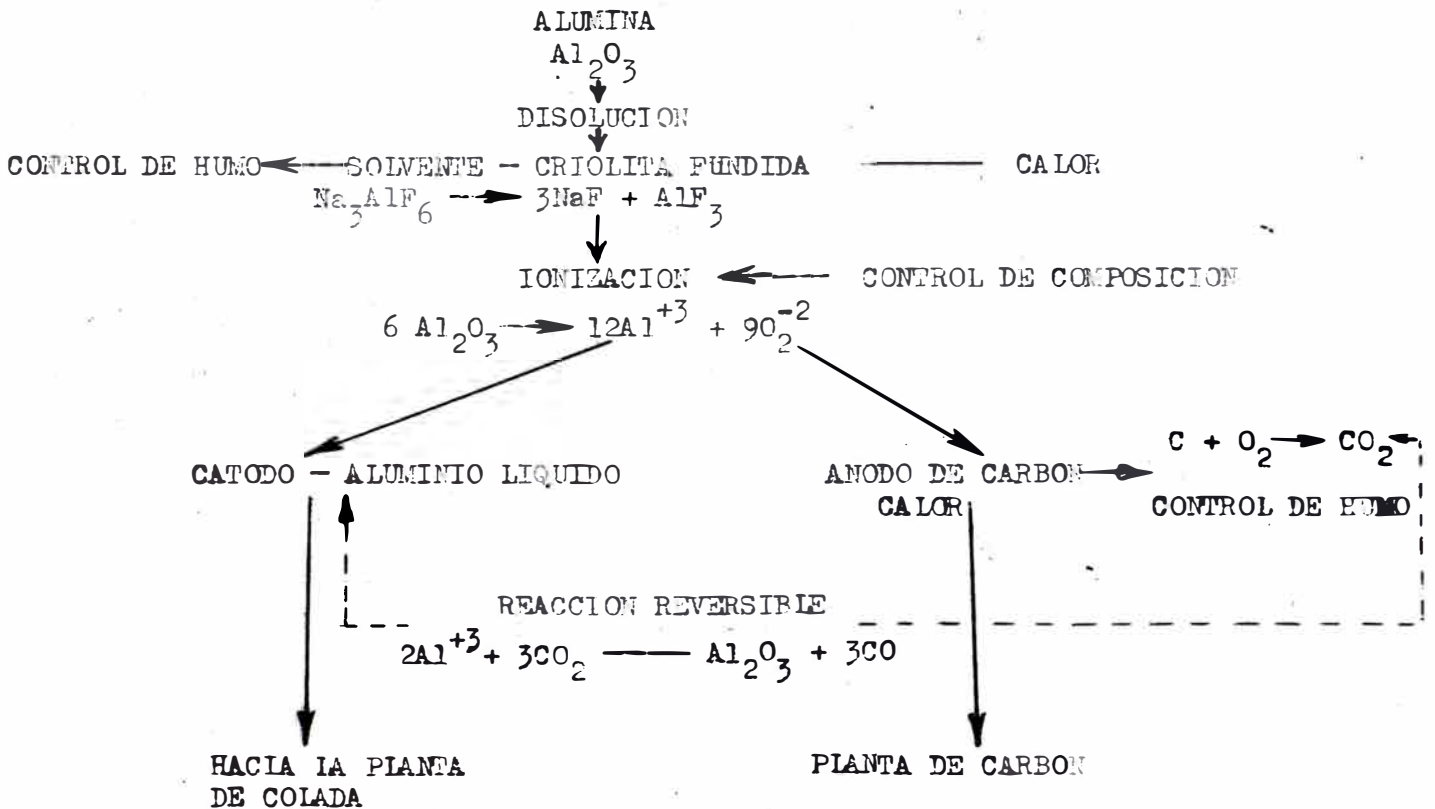
Las resistencias estan distribuídas de la siguiente manera y necesitan bajo condiciones normales los siguientes voltajes

	<u>Voltios</u>	<u>%</u>
		
Anodo	0.40	7.8
Voltaje de descomposición	1.21	23.5
Sobrevoltaje del ánodo	0.80	15.5
Calentamiento del Baño	2.08	40.4
Cátodo	0.44	8.5
Barras conductoras - Bus luces	0.07 0.15	1.4 2.9
Promedio de voltios de la celda	5.15	100.



CORTE SECCIONAL DE UNA CELDA DE REDUCCION DE ALUMINIO DE TIPO NIAGARA.

ESQUEMA DEL PROCESO DE REDUCCION:



La producción de cada celda es de 1,075 KG al/día y con una disponibilidad de 720 celdas dispuestas en 4 líneas y 8 salas la producción instalada de la planta es de 280,000 TM de aluminio/año.

Los insumos básicos por Kg de aluminio producido :

Alumina (Al_2O_3)	1.92 kg.
Carbón	0.50 kg.
Energía	14.00 KWH
Vida de las celdas(promedio)	1,000 días

2.2 Instalaciones Auxiliares

A. Planta de Carbón

- A.1 Molienda y compactación, donde se fabrican los ánodos - mediante la mezcla caliente y moldeado en caliente del coke de petróleo, alquitran, antracita y cabos.
- A.2 Hornos de cocción, los ánodos fabricados en la planta de molienda y compactación son sometidos a un proceso de cocción en hornos especiales durante 20 días aproximadamente, a fin de mejorar sus características de conductividad eléctrica.
- A.3 Sala de envarillaje, a los ánodos cocidos en la planta de hornos de cocción se les acoplan las barras conductoras, de aluminio con extremo de hierro en forma de yugo, con hierro colado proveniente de 2 hornos de inducción eléctrica. En la misma son recuperados las barras de los ánodos ya usados (cabos) para su reparación y reutilización.

A.4 Sala de reparación de celdas, instalación para el reacondicionamiento de las celdas, donde son nuevamente preparadas para entrar en producción, mediante la aplicación de un nuevo revestimiento catódico.

A.5 Planta de pasta de cátodos, su función es la producción de la mezcla o pasta de antracita y alquitrán para el revestimiento catódico del fondo de las celdas

B. Planta de Colada

El aluminio líquido proveniente de las salas de celdas trasladado a los crisoles de 6 TM c/u son depositados en los 12 hornos de retención. Aunque el metal obtenido en las celdas es de 99.8% de pureza, aquí se purifica y se forman aleaciones con otros metales como titanio, magnesio, cobre, silicio, hierro, etc. para darle propiedades específicas de acuerdo al uso final que se dará al producto se colan en varias formas diferentes como lingotes, cilindros, planchones, tochos y barras T, etc.

C. Laboratorio

Dotado de modernos equipos e instalaciones para el control de la composición química del metal, materias primas, etc. Incluye asimismo, áreas para el análisis y control de todo tipo de contaminante atmosférico.

D. Sala de Comprimido

Su función es proveer de aire a las diferentes instalaciones de la planta para equipos de operación, control, instrumentación etc.

Se muestra un diagrama general para la producción del aluminio.

PLANO 1

3. FABRICACION DE LOS ELECTRODOS ANODOS

La fabricación de ánodos se realiza en la planta de molienda y compactación diseñada para producir 46 TM/H de pasta.

La estructura del acero es de acero estructural, de un cargo de 60 m. x 40 m. de ancho. 55 m. de alto, con 6 niveles principales y 3 intermedios.

Acá se encuentran instalados todos los equipos de molienda, trituración, crivado, compactación, para la mezcla uniforme de carbón y alquitrán para fabricar ánodos de densidad uniforme. Se han agrupado en grupos por la función que realizan.

<u>Grupo</u>	<u>Denominación</u>
A	Transporte y cribado del coque de petróleo
B	Transporte del material de molienda
C	Molienda por corriente de aire
D	Transporte de la fracción material grueso
E	Transporte de la fracción material mediano
F	Transporte de la fracción polvo
G	Preparación de brea
H	Planta trituración de residuos
K	Planta de mezcla de pasaje
M	Sistema de moldeo
N	Desempolvado principal
P	Instalación de aceite térmico
R	Aspiración de vapores de brea
S	Desempolvado del suelo

3.1 Mezcla de Pasta

La pasta esta compuesta de carbón y alquitrán. La fracción carbón esta compuesta de diferentes dimensiones como :

<u>Fracción</u>	%
Finos	40
Medios	30
Cabos	30
Desechos verdes	6

3.1.1 Finos, proceden de diferentes sitios de molienda, per la mayor parte proviene de los dos molinos de bolas barridos por aire Cada molino tiene 15 TM de bolas de 30 mm ϕ , 15 TM de 40 mm ϕ y 15 TM de 50 mm ϕ y con una capacidad de molienda de 10 TM/H.

Las fracciones de las crivas,C-R 20 mesh y exeso (-)4 mesh (+) 20 mesh son reducidos en los molinos.

La distribución del producto es

<u>Fracción</u>	%
(-) 20 mm (+) 200 mesh	40
(-)200mesh+325 mesh	20
(-)325 mesh	40
Total	<u>100</u>

La separación por el clasificador, la fracción fina (polvo) es elevada y descargada en tanques de almacenamiento de acero de capacidad 375 TM.

3.1.2 Medios,Gruesos y Cabos, el coke es cargado de los silos a una máxima rata de 40 TM/H a un transportador y este a un elevador de baldes que deja en el tope del edificio sobre 3 crivas vibratorias de 16 TM/H, donde se obtienen 3 diferentes fracciones :

<u>Fracción</u>	<u>Dimensión</u>
Grueso	(-) 19 mm (+) 4 mesh
Medio	(-) 4 mesh (+) 120 mesh
Fino	(-) 20 m.

Los cabos se transportan por medio de correa transportadora desde el cuarto de envarillado a la trituradora de mandíbula en la sección de molienda y compactación. Las partículas de hierro son removidas de la faja por una poleo electromagnética.

La trituradora de mandíbula tomará un ánodo de tamaño natural, que es de 1320 mm x 780 mm. x 560 mm, con una capacidad máxima de 100 TM/H.

La trituradora reducirá el ánodo o cabo a un tamaño que fluctúa de 0 a 200 mm, luego pasa a un cedazo de 60 TM/H. El material de x 19 mm va a la trituradora giratoria para ser triturado a tamaños de 19 mm. a 0.20 mm. Del triturador los cabos van a una tolva elevadora a otro cedazo de 2 mallas. La abertura de la malla superior es de 19 mm. y la de la inferiores de 4.8 mm. Si algún material no pasa por estas mallas, recircula al triturador giratorio de donde va al elevador y de nuevo a los cedazos. De estos cedazos, el material va al tanque de cabos o al tanque intermedio que primeramente pasa por el conjuntos de cedazos. Este material se usa luego en el ánodo al igual que la fracción de coke.

3.1.3 Desechos verdes, van a la misma trituración de los cabos, luego pasan por una correa transportadora al primer conjunto de cedazos que lo clasifica por tamaños. Las porciones grandes van al triturador giratorio. Después de la trituración estas porciones del elevador de cabos a otra correa transportadora hacia los 2 tanques de almacenamiento de 35 TM de desecho de carbón verde, los cuales no pasan por el segundo conjunto de cedazos al igual que los cabos. De ser así se perdería el control del lugar de almacenaje.

Como regla los desechos verdes no deben mezclarse con los medios o la fracción de cabos.

3.1.4 Alquitrán, el generalmente usado para la fabricación de ánodos es el alquitrán de hulla, con un punto de 116 a 125°C. Es necesario un alto punto de fusión para evitar que se fusione en un trozo grande durante el almacenaje. El mas usado es el alquitrán de lapiz, o sea tiene la forma de un lapiz pero hueco por dentro.

El benceno insoluble es alrededor de 28 a 35%, la quinoleina insoluble es de 11 a 15%. El % de quinoleina debe ser más o menos de la mitad del % del benceno para la fabricación de un buen ánodo, el valor del coke para el alquitrán debe de ser como mínimo del 50%. El contenido sulfuro, humedad, hierro, sílice, debe ser lo más bajo posible.

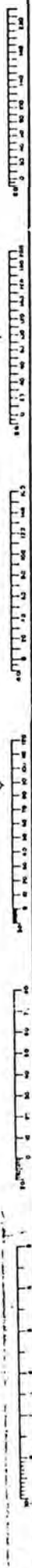
Ejemplo de especificación :

Ceniza	0.2	-	0.5% máximo
Sulfuro	1.5	-	2.0% máximo
Humedad			0.05% máximo
Sílice	0.005	-	-.03% máximo
Hierro	0.02%		

De la tolva de almacenamiento el alquitrán va a los vibradores alimentadores que controlan la alimentación a una correa transportadora. Los desechos de metal existentes serán separados por 2 electroimanes en ambos extremos del transportador.

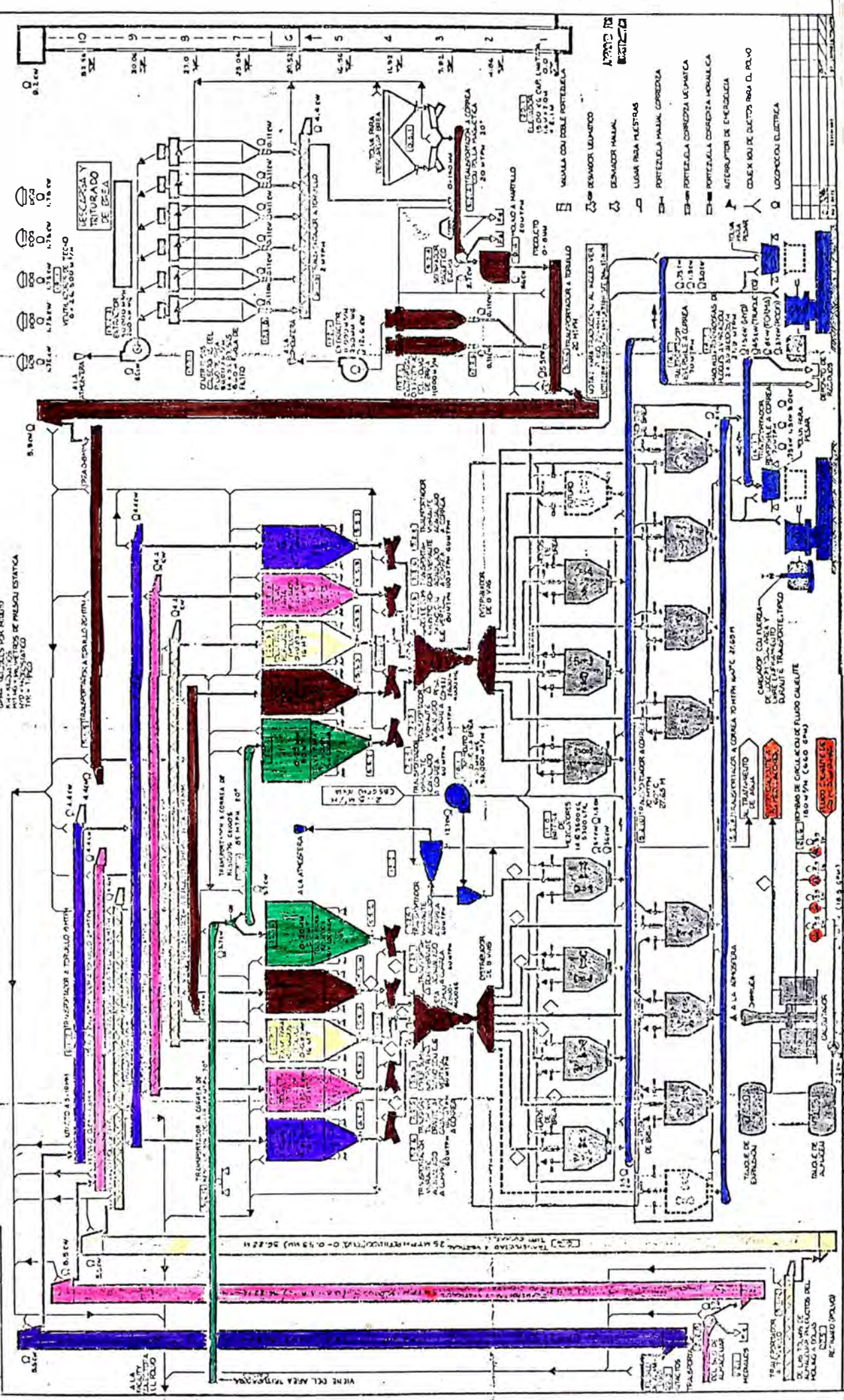
Mediante la correa transportadora el material va a un molino de martillos con capacidad para moler 20 TM/H de 0 a 8 mm.

Existen 6 hileras de martillos reversibles, que pueden voltearse y ser usados por el otro lado. El material va a través del molino de martillos a un transportador de tornillo sin fin, y desde acá a un balde elevador, y descargado a un tanque de almacenamiento listo para su uso.



825-5061-24-V-114

LECCION:
 HORA: TOLDAIS METRAS POR HORA
 HORA: TOLDAIS METRAS
 HORA: TOLDAIS METRAS POR HORA
 HORA: TOLDAIS METRAS POR HORA
 HORA: TOLDAIS METRAS POR HORA
 HORA: TOLDAIS METRAS POR HORA



- APROBADO EN
 DESTINADO
- MOTOR
 - VALVULA
 - CONEXION
 - MALLA CON DOBLE PORTAZUELA
 - RESERVOIR LEVANTADO
 - DEMORADOR MANUAL
 - LUGAR PARA MUESTRAS
 - PORTAZUELA MANUA, CORREDEZA
 - PORTAZUELA CORREDEZA AUTOMATICA
 - PORTAZUELA CORREDEZA MANUAL
 - REGULADOR DE ENERGIA
 - COLEXIION DE DUCTOS ROJO D. POLVO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	MOTOR	1	HP
2	VALVULA	1	INCH
3	CONEXION	1	INCH
4	MALLA CON DOBLE PORTAZUELA	1	INCH
5	RESERVOIR LEVANTADO	1	INCH
6	DEMORADOR MANUAL	1	INCH
7	LUGAR PARA MUESTRAS	1	INCH
8	PORTAZUELA MANUA, CORREDEZA	1	INCH
9	PORTAZUELA CORREDEZA AUTOMATICA	1	INCH
10	PORTAZUELA CORREDEZA MANUAL	1	INCH
11	REGULADOR DE ENERGIA	1	INCH
12	COLEXIION DE DUCTOS ROJO D. POLVO	1	INCH

Este material tiene su propio sistema de recolección de polvo y el alquitrán se descarga en el tornillo sin fin para que vaya al lugar de almacenamiento con el alquitrán restante. El alquitrán no pasa por ningún cedazo por cuanto el tamaño no tiene importancia .

Para seguir los flujos referirse a los diagramas anexos .

Las fracciones de carbón y alquitrán tienen que ser cargadas a las mezcladoras .

Las básculas encima de las mezcladoras son cargadas por medio de una canaleta vibratoria (4 en total) y una cerradura giratoria horizontal para la distribución del polvo.

La secuencia de carga a las básculas de 4.8 TM c/u por cada fracción. Con una receta normal de 5 componentes en secuencia y en proporciones preestablecidas es así; medios, alquitrán , polvo, cabos y desechos verdes.

- 3.2 La capacidad de una mezcladora es de 3500 Kgr. las proporciones de fracciones y alquitrán se llama receta. De las básculas se alimenta a las mezcladoras por gravedad. Cálculo de la distribución de la carga para una receta de :

Alquitrán	15.4%
Fino	40 %
Medio	35 %
Cabo	25 %
Desecho verde	5 %

Base 3,000 Kgr.

- Se fija el sesecho verde 3000×0.05 = 180 kg.
- $(\text{Base-desecho verde}) \times \% \text{ alquitrán} (3000-180)$
 $\times .1\%$ + \$\$\$.# KG.

- Base-614.3 3000-614.3 = 2385.7 kg.

viene a ser el 100% del peso a distribuir entre los finos,medios y cabos.

Alquitrán		434.5 kg
Fino	2,385.7 x 40%	954 kg.
Medio	2,385.7 x 35%	835 kg.
Cabo	2,385.7 x 25%	596.5
Desecho Verde .		180 kg.
		<hr/>
	Total	30,000 kg

3.3 Las mezcladoras así cargadas son calentadas por un sistema de transferencia de calor Heat Transfer Media (HTM). Se trata de un aceite caliente tipo terminal que es calentado y circulado desde un caldero quemador a gas hasta las mezcladoras para ceder calor y regresando al caldero de serpentín. La temperatura de circulación del HTM fluido es de 240°C en el ducto principal, cada grupo de mezcladoras (se tiene 2 grupos de mezcladoras de 8 mezcladoras c/u) contiene paletas sigmoidales, esta amaza y mezcla, el coke y alquitrán a lo largo de las paredes calentadas hasta que el alquitrán sea líquido y la pasta uniforme. El tiempo total de mezcla por grupo incluyendo la pesada y carga es 1 hora.

La pasta verde debe alcanzar de 150 a 160°C y es descargado sobre un transportador que pasa debajo de los mezcladores para ser llevado a cualquiera de las dos tolvas de pesada para la formación de bloques.

Como requerimiento 900 kg de pasta caliente a 140 ,150°C es pesado y descargado dentro de un molde matriz lubricado en cualquiera de las 2 mesas de vibrado. La tapa de encima es adicionado y el bloque es formado por vibración y compactación de la pasta verde en el molde de la máquina vibradora compactadora, hasta obtener una uni

forme densidad de 1.6 gr/CC

Cuando la compactación es completa, el molde es removido y el reciente block verde caliente formado es inyectado sobre una badeja de un transportador aéreo para pasar el ánodo caliente por un sistema de enfriamiento por sprays de agua y obtener un bloke frio sin deformaciones ni desprendimientos listo para ser almacenado o cargado a hornos.

Los blokes son producidos en las 2 máquinas de compactación vibración a una rata de 30 por hora c/u.

4. HORNOS DE COCCION

4.1 Alcances

Se trata de mostrar el equipo, la tecnología y otros detalles de una planta de cocción de anodos para abastecer de blocks electrodos de carbón a una planta de Reducción de Aluminio. De capacidad 280,000 TM/año localizado en Ciudad Guayana en Venezuela.

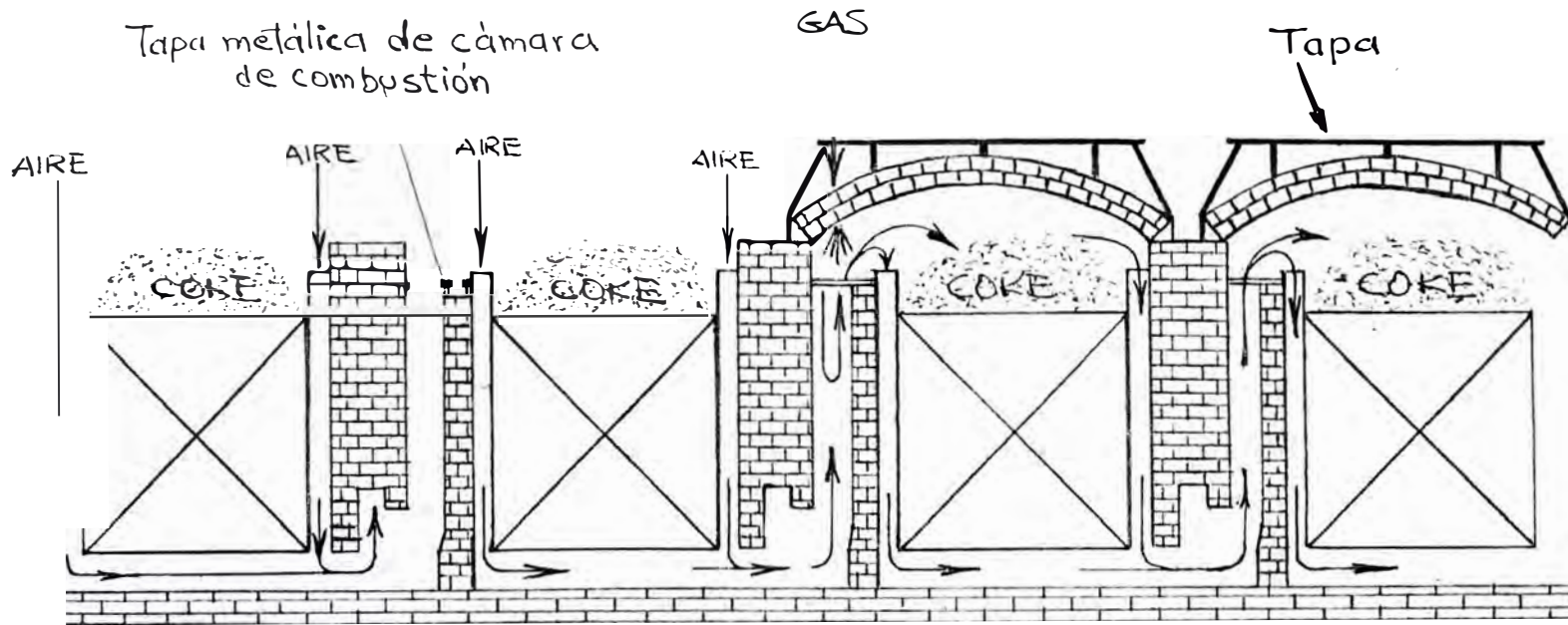
Dentro de esta industria son usados 2 tipos de hornos, el tipo de fuego horizontal o abierto es mayormente usado en América con el de tipo de fuego vertical o sistema Riedhammer cerrado, más usado en Japón para la cocción de anodos de carbón.

Específicamente, nuestra orientación es hacia los hornos Alemanes. de cocción tipo Reidhammer cerrado.

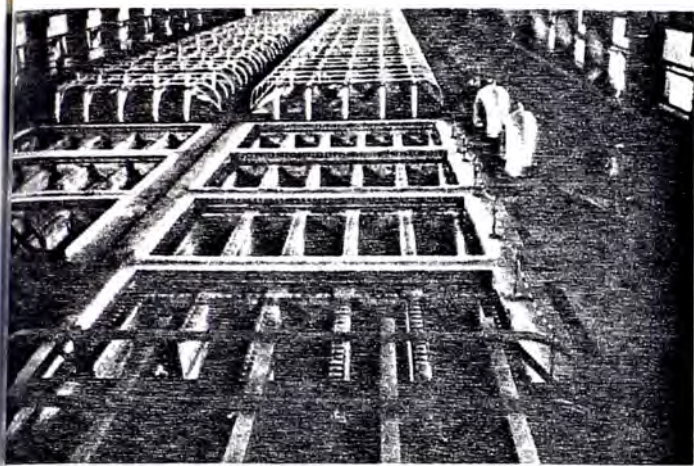
El combustible es introducido a través de jets quemadores desde los arcos de la tapa dentro del centro de las cámaras de combustión para este propósito y consiste de un material arcilla refractaria de alta resistencia. Un balance de Presión y Temperatura puede ser logrado en el espacio arqueado bajo la tapa y en el fondo de la fosa.

Los gases de combustión se mueven alrededor de toda la carga, la penetración del oxígeno es prevenido por el buen sello de la sección

FLUJO DE AIRE, LLAMA Y GASES DE COMBUSTION
POR LOS CONDUCTOS DE LAS SECCIONES EN EL
HORNO DE COCCION



CORTE LONGITUDINAL



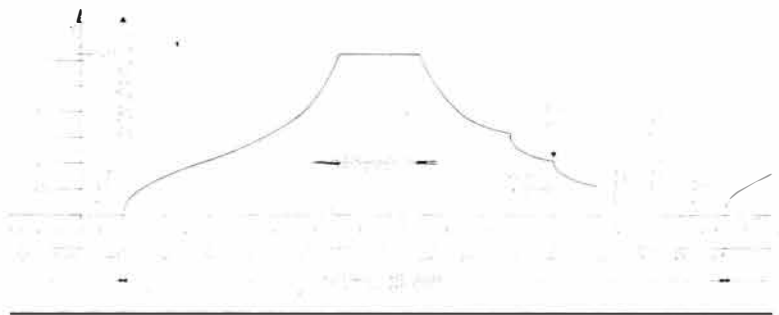
comparatively small flue gas volumes are outstanding criteria featuring the closed furnace.

ing Curve :

temperature curve called for by the specific properties of the charge is followed exactly. Owing to slow and controlled rise of temperature in the preheating zone, ready transfer and uniform distribution of temperature in the working sections as well as continuous cooling in an atmosphere poor in oxygen, the curve ensures achieving optimum product quality. The products may be either high-grade steel grades or simply amorphous material.

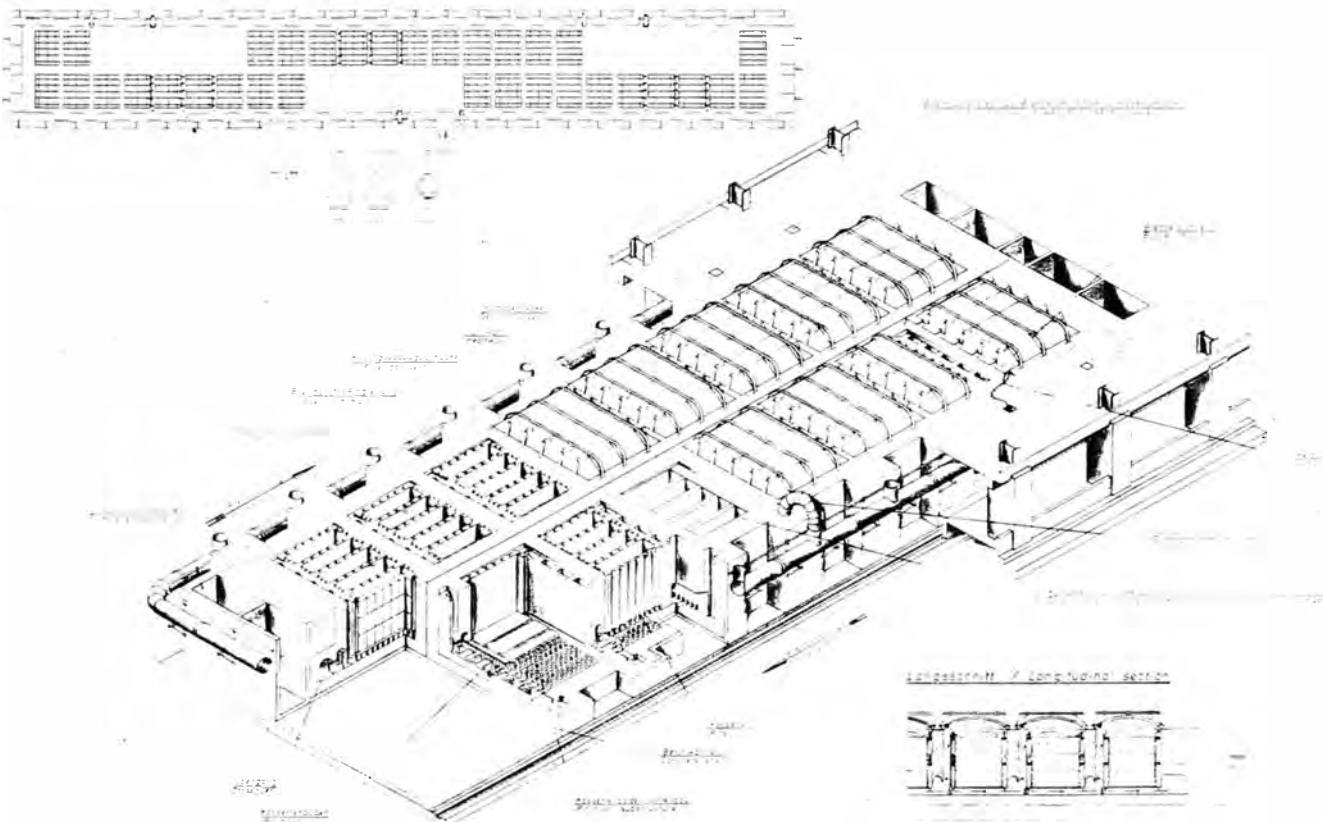
carbonization residue and excellent electrical conductivity of the product just as well as low fuel consumption and

*Typische Brennkurve für einen geschlossenen Anodenofen
Typical Baking Curve for a Closed Anode Furnace*



Geschlossener Ofen - Closed Vertical Flue Furnace

Produktion mit Elektrogas-Heizung und Flusssäure-Abgasreinigungssystem



en el tapado. Debido al contacto de las superficies libres en to dos las direcciones, hay una pequeña diferencia de temperatura - entre el gas combustible, el material de empaque y la carga. Este hecho permite que el precalentamiento proyectado sea controlado - fácilmente durante la fase crítica de la ignición del ligante aglomerante. Debido a la pequeña diferencia en temperatura entre el gas combustible y carbón así como el bajo contenido de O_2 , la temperatura de gas de combustión se establece debajo del punto de ignición de los aglomerantes vaporizados durante el escape de estos.

Durante el período de enfriamiento, la larga superficie de la fosa (superficie de contacto) otra vez toma un efecto muy favorable for zando una rápida baja de temperatura. No se prevé ninguna canti - dad de aire en el material de empaque hay un balance absoluto de presión en la sección.

En los gráficos se puede apreciar la estructura y flujos en las Secciones de los hornos.

4.2 Proceso de Cocción de Anodos

Los Anodos verdes fabricados en molienda y compartición son trans - portados y cargados a las secciones de los hornos para su cocción. Este proceso se realiza en una atmósfera enrarecida en oxígeno y con presión de succión.

El proceso está ajustado a una curva de temperaturas VS. Tiempo pre establecido.

El proceso es de destilación cuya finalidad es fijar una cantidad de alquitrán en el electrodo que sirva como ligante enlace de las diferentes partículas de carbón y que al coquisar le da al ánodo propiedades físicas como la dureza y conductividad eléctrica apropiadas. Para obtener esto los ánodos son sometidos a altas rempera turas durante un período largo de tiempo en los Hornos.

La carga a los hornos se realiza a temperatura ambiente, luego de ser tapada la sección se inicia el precalentamiento desde 60°C hasta alcanzar 125°C en 196 horas para luego mantenerlo así por 56 H más luego del cual finaliza el proceso y entra en enfriamiento con etapas durante 84 horas para luego iniciar un enfriamiento natural y con ventiladores de tiro forzado por 1/2 hora al cabo de lo cual se halla listo para descarga.

4.3 Marcha y Operaciones en los Hornos

Para la marcha se disponen las secciones en grupos de a 16 que son llamados fuegos, estos rotan como una cadena sin fin dentro de la estructura de concreto.

Un fuego consta de :

Secciones	16
Cubiertas	12
Puentes de quemadores	3
Ventiladores de enfriamiento	2
Secciones tapadas	12
Secciones destapadas	4

Durante las operaciones el fuego tiene siempre las siguientes disposiciones de las secciones :

- En precalentamiento	6
- Con fuego directo	3
- En enfriamiento con tapas	3
- En enfriamiento sin tapas	2
- En carga	1
- En descarga, limpieza y mantenimiento	1

La operación de carga y descarga, es realizada mediante las grúas puente NKM usando las pinzas y cargando en las fosas 3 hileras de a 6 ánodos hasta completar 90 ánodos/sección. De igual manera se descarga sacando grupos de a 6 ánodos con las pinzas de las grúas .

Estas grúas tienen capacidad de 30 TM c/u.

4.4 Equipos e Instalaciones

Para las operaciones y el proceso de esta planta se cuenta con los siguientes equipos:

1. Los hornos de cocción
2. Grúas puentes -4
3. Sistemas de transportadores
4. Equipos móviles
5. Sistema de tratamiento de gas
control de humos
control ambiental

Los hornos de cocción son unas construcciones pirometalúrgicas de ladrillos refractarios de forma paralelepípeda dentro de una caja de concreto de aproximadamente 250.5 m de largo, 17.9 m de ancho y 5.4m de altura soportado sobre una fundación de concreto.

Los hornos de cocción están alojados en 2 edificios paralelos y separados, cada uno de 30m de ancho, 286m de largo con una altura de 18.4 metros cubriendo un área de $30 \times 286 = 8580 \text{ m}^2$.

Cada caja contine ladrillos refractarios que la dividen en 80 secciones. Las paredes formados por ladrillos de conducto vertical y del piso tienen pasages internos que permite pasar el aire y gases de combustión calientes de una sección a otra y fluir alrededor de los ánodos empacados.

Cada una de estas secciones luego, son subdivididos por ladrillos refractarios de contacto con el fuego en 5 fosas para cargar blockes y 5 cámaras de combustión para quemar el gas.

Donde el ladrillo de fuego es adyasente al concreto material de aislamiento es colocado entre ellos.

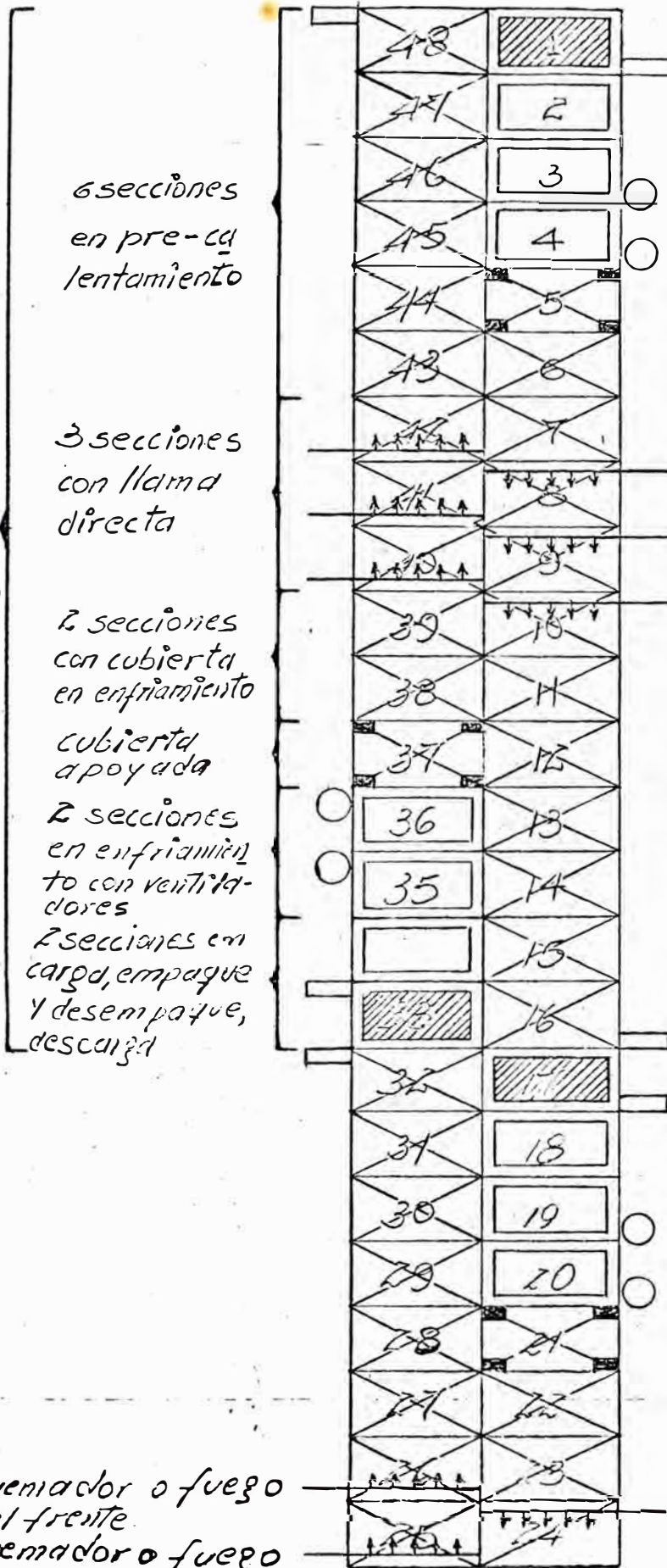
Dimensiones:

Secciones:

Número	160
Largo	4,878 mm

DISPOSICION EN EL HORNO DE COCCION

-25-



-  SECCION EMPACADA
-  SECCION CON ANODOS
-  SECCION APOYADA
-  SECCION SIN CUBIERTA
-  MULTIPLE DE QUEMADORES
-  INTERCAMBIADOR DE GASES
-  APOYO
-  VENTILADOR
-  SECCION SIN ANODOS

quemador o fuego del frente
quemador o fuego principal

quemador o fuego de atrás

Handwritten signature
28-11-77

VENTILADORES DE GASES DE ESCAPE

Estos generan la sección y jalan los gases de combustión de los hornos mediante un intercambiador al ducto principal y a los sistemas de descontaminación ambiental.

Número	4
Reserva	2
Eficiencia de rendimientos por unidad aproximada	70,000 m ³
Diferencia de presión total	230 Kp/m ³
Temperatura de los gases de escape dentro del ventilador aproxi.	70°C
Carga conectada del motor activador	37 Kw

VENTILADORES DE ENFRIAMIENTO

Número	6
Eficiencia de rendimiento por unidad aproxi.	10,000 m ³
Temperatura del aire aprox.	300 °C
Diferencia de presión Total aprox.	50 Kp/m ²
Carga conectada al motor activador aproxi.	7.5 KW.

4.5 Datos de Salida del Horno

Productos a ser cocidos	Anodos
Dimensiones del Anodo	790 mm ancho 1320 mm longitud 560m alto.
Peso específico de la carga	915 KG/M ³
Peso de la carga por sección	90 x 0.84 = 75.6TM
Carbones por sección	90 ánodos
Ciclo de avance	28 horas
Producción diaria del horno	
Anodos cocidos	648 TM
Producción anual-Anodos cocidos	236,500 TM

Ancho	6,720 mm
Profundidad	5,225 mm
FOSA:	
Número por sección	5
Largo	3,800 mm
Ancho	1,000 mm
Profundidad	4,350 mm
Contenido Cúbico	16.53 m ³
Volumen por Sección	82.65 m ³
CAMARA DE COMBUSTION:	
Número por sección	5
Largo	470 mm
Ancho	890 mm
Profundidad	4,828 mm

Los gases de combustión son descargadas desde las secciones del horno dentro un anillo de tubo de acero rebestido con material refractario llamado ducto principal por donde es enviado al area de tratamiento de gases de desecho.

Cada sección tiene una tapa movable de estructura de acero y ladrillos refractarios con base de hierro fundido en donde son alineados 5 huecos en los ladrillos para la inserción de los quemadores y lleva en la cima también un hueco para montar artificios de medición de temperatura.

DIMENSIONES:

Número total de tapas	120
Largo	5,580 mm
Ancho	7,430 mm
Altura	1,445 mm
Peso	20 TM

Debido a que los hornos trabajan sobre un sistema de presión negativa las tapas son selladas contra filtraciones de aire.

Ver el diagrama de flujo y Disposición en el Horno de cocción,

4.6 Consumo de Combustible

Clase de combustible	Gas Natural
Valor calorífico	9877 Kcal/Nm ³
Calor requerido por TM de anodo cocido	780,000 Kcal/TM
Consumo de gas por día	51,500 Nm ³ /Día.

4.7 Material de Empaque

Material: Antracita, coque metalúrgico o de petróleo

Tamaño: Requisitos iniciales	5-10 mm
Requisitos suplementarios	5-15 mm
Relleno por sección aprox.	34 m ³
Relleno por horno aprox.	5540 m ³
Consumo aprox.	66 m ³ /Día

4.8 CURVA DE COCCION

Mirando la Curva de Cocción para 28h/Ciclo explicamoslo que ocurre internamente:

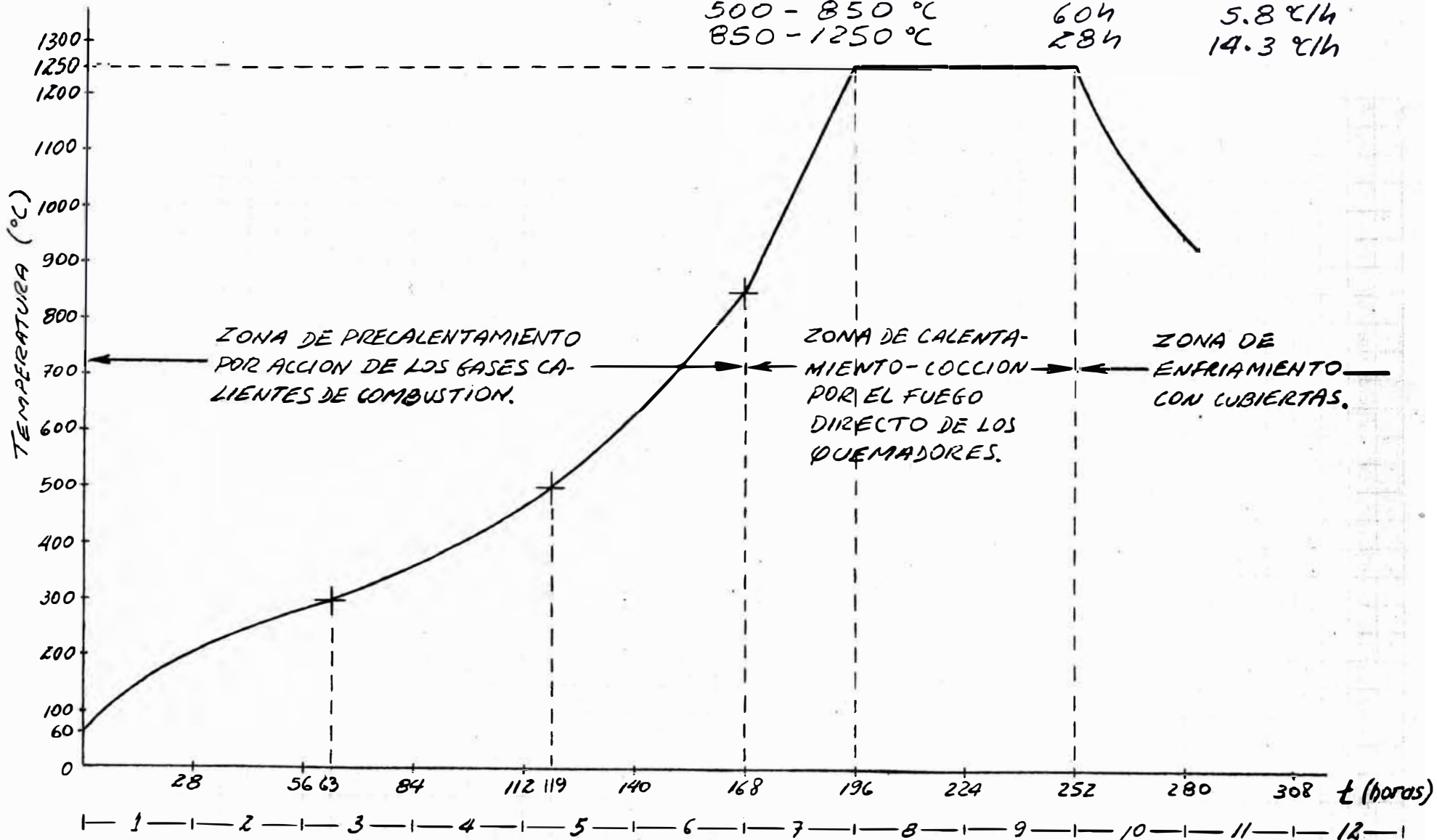
Rango de Temperatura Cocc.	Tiempo	Tiempo Acumulado	Gradiente Temperatura	SITUACION
0 - 300°C	63h	63h	5°C/h	El alquitrán se funde, puede deformar los Anodos sino tiene buen empaque. La Rata de calentamiento debe ser lo más alta posible.
300-500°C	56h	119h	4.2°C/h	Destracción del Alquitrán , perdida al rededor del 5% en peso de Anodos. Si la rata de calentamiento es muy alta el Alquitrán hierve y agrieta el Anodo. Rata \approx 4°C/h
500 - 850°C	49h	168h	5.8°C/h	Agrietamiento y ecogimiento del Alquitrán dando pérdida en peso de 1%. El proceso de calentamiento puede agrietar el Anodo. Rata de calentamiento \approx 5.8°C/h
850 - 1250°C	28h	196h	14.3°C/h	Etapa donde debe llevarse a elevada rata de calentamiento ya que puede haber pérdida de Coke. Rata de calentamiento = 14.3°C/h
1250	56h	252h	---	Mantener a 125°C por 56h

Las curvas de cocción son diseñadas de acuerdo a una producción deseada de Anodos cocidos y también en función de secciones disponibles, sin olvidar que la finalidad es celdas.

Los ciclos de rotación de fuegos está dentro del rango desde 28 horas hasta 48 horas.

CURVA DE COCCION PARA CICLO DE 28 HORAS

RANGO DE TEMPERATURA	TIEMPO	GRADIENTE
0 - 300 °C	60h	5 °C/h
300 - 500 °C	48h	4.2 °C/h
500 - 850 °C	60h	5.8 °C/h
850 - 1250 °C	28h	14.3 °C/h



Trabajando con 180 secciones se da como ejemplo a la producción controlada de ánodos cocidos.

CICLO	Nº DE FUEGOS	PRODUCCION BRUTA
28h	10	771 Anodos
32h	10	675
36h	10	600
40h	10	540
44h	10	491
48h	10	450

Esto es muy flexible y permite hacer programas de mantenimiento sacando fuera de servicio grupos de secciones y otras como disminución de velocidad de rotación.

4.9 Refractarios

Se hace riguroso tener que especificar y suministrar datos acerca de los refractarios para los hornos de cocción puesto que su volumen es grande tanto para su construcción como para su mantenimiento.

Requerimiento: Los materiales deben ser de material de calidad estandar tal como se especifica en las tablas del 1 al 4. Es posible de sustituirlos por materiales de igual calidad pero no de menos.

(Ver Tabla 1)

4.9.1 Tolerancias Longitudinales

La tolerancia para todo ladrillo debe ser más o menos un milímetro si por razones de producción el fabricante no encuentra la tolerancia específica, puede fabricar un igual número de ladrillos con recíprocas medidas.

Como sea las desviaciones dimensionales no deben de exceder del 2% los ladrillos fuera de tolerancia deben ser identificados y clasificados.

TABLA 1

DATOS TECNICOS DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS

Calidad	Silli 50	AI S	AI	AII	AIII	BII
Clase de Manufacturación*	d	d	d	sd	sd/p	sd/p
Alto punto de fusión Cono Seger	35	33/34	33	32	30	27
Densidad en masa g/cm ³	2.35	2.15	2.0	1.95	1.95	1.9
Resistencia a la compresión en frío Kp/cm ²	600	300	200	150	150	150
Alto Punto de fusión Bajo Carga °Cta.	1530	1480	1400	1350	1320	1320
Porosidad aparente Vol %	17	20	19	23	23	25
ANALISIS QUIMICO %						
H ₂ O ₃	52	42	41	35	34	25
TiO ₂	2.0	1.9	2.0	1.5	1.5	1.3
Fe ₂ O ₃	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5
Alcali	1.0	2.2	2.3	3.8	3.9	4.0

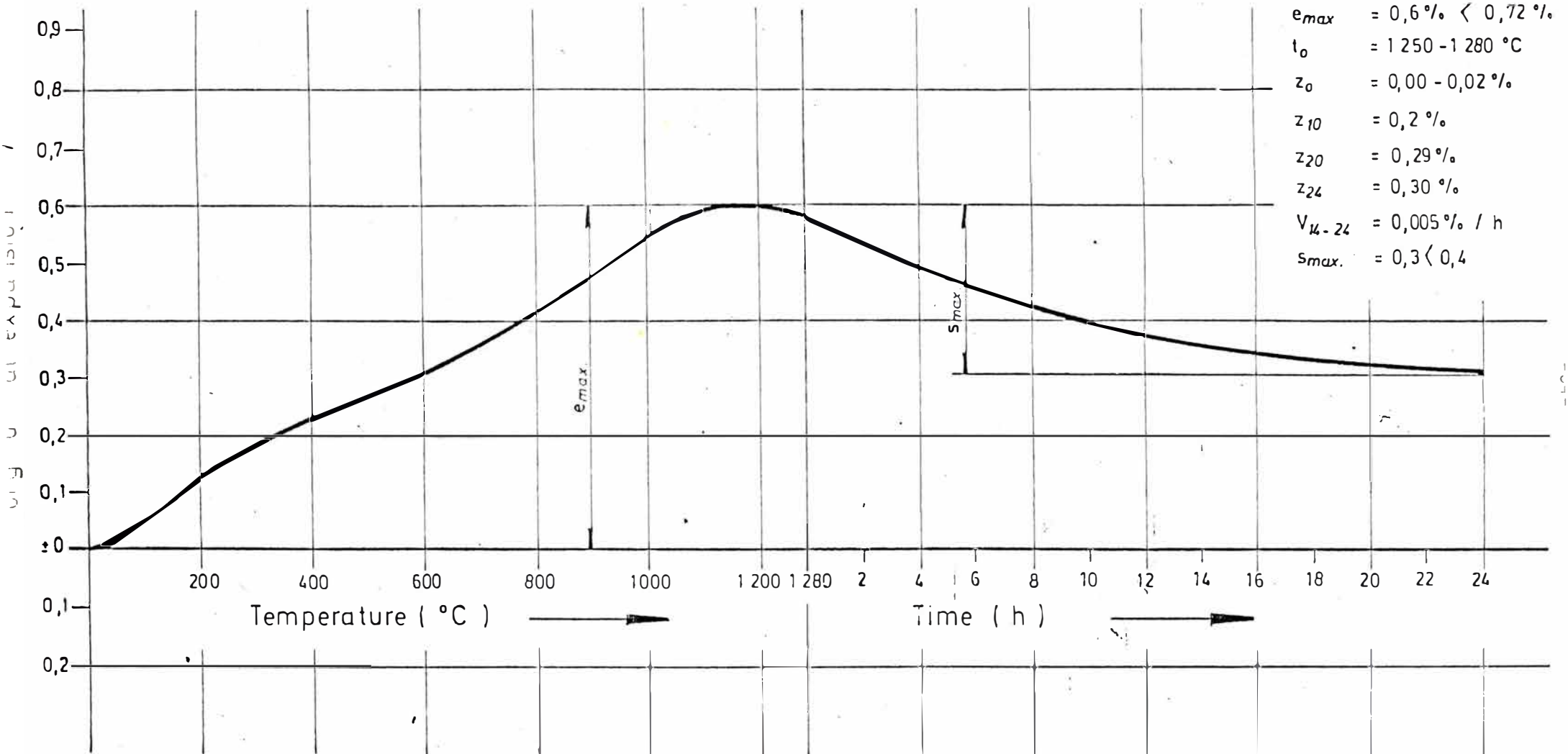
(*) d----- Prensado en seco

sd ---- Prensado semisecho

p ----- Prensado plástico

DATOS TECNICOS DE LOS MORTEROS

Calidad	CIS	CI	CII	CII	Fraguado en Frío
Cono Seger	33	33	31	29	16
Granulación m.m	0.05	0-0.7	0-0.7	0-0.7	0-0.5
% H ₂ O ₃	37	37	33	30	18
Fraguado °C	110	110	110	110	10
Sinterización °C	900	900	800	700	1000



Institut
für
Gesteinshüttenkunde
TH Aachen

	Datum	Name
Gezeichnet		
Geprüft		
Normgepr.		

Long time behavior of a brick sample at
1280 °C / 2 kp/cm / 4°C/min.

Ordered by
Fa. Riedhammer, Nürnberg

Prüfer. Nr.:
Eings. Nr.:
Bez.: Pit brick
Anlage

Una clasificación puede ser hecha como el ejemplo siguiente:

10% de ladrillos	Largo nominal de -2 a 4 mm
40% de ladrillos	Largo nominal más de 2 mm
40% de ladrillos	Largo nominal más de más 2 mm
10% de ladrillos	Largo nominal de más 2 a más 4 mm

4.9.2 Especificación de calidad para ladrillos de fosas

La calidad del alto rendimiento de la arcilla refractaria - desde los ladrillos de las fosas y las de las cámaras de combustión son hechos con requerimientos especiales, considerando las propiedades de después del encogimiento que son analizados mediante una prueba de flujo a largo tiempo, conducido por el Technische Hochschule of Aachen (Instituto para Tecnología).

En la curva que se incluye se muestra las propiedades de un ladrillo de fosa después de encogido. Basado en la prueba - después del encogimiento, cada ladrillo de fosa debe tener - los siguientes requerimientos:

Máxima expansión permisible	0.72%
Máxima contracción permisible	0.4%

Muestras fortuitas serán tomadas cada décimo de la producción total. Si estas muestras fallan para encontrar el criterio de la prueba, entonces 3 muestras adicionales serán tomadas y hacer la prueba final para verificar el resultado inicial. Si estas muestras fallan para encontrar el criterio de prueba, muestras adicionales serán hechas y hacer correcciones y mejoramientos para producir ladrillos de aceptables características.

4.10 Equipo de Gas Combustible

Para la cocción es abastecido de gas natural a las secciones mediante un anillo principal alrededor de la superficie de estructura. La presión de la línea principal de 2.5 bar. es reducida a 0.8 bar. en la línea de abastecimiento directo a los múltiples de quemadores -

donde a su vez es reducido a 0.15 bar. para su ingreso a los quemadores.

Para esto se cuentan con válvulas de bola de cierre rápido, válvulas de seguridad automáticas, válvulas de alivio, líneas de evitamiento para mantenimiento y válvulas solenoide que corta automáticamente el flujo de gas en caso de bajar la succión requerida en el ducto principal. Para condiciones de seguridad en el panel del cuarto de control se dispone de una parada de emergencia, aquí mismo es continuamente monitoreado la presión y consumo en registradores este anillo es dividido en 4 secciones independientes por válvulas de sellado para hacer mantenimientos mientras la operación en el horno continúa, este anillo tiene a la altura de cada sección conexiones de acople a donde se conecta las mangueras flexibles con refuerzo metálico, del múltiple de quemadores; que viene a ser un dispositivo puente tanque metálico donde van insertadas 5 mangueras flexibles reforzadas con su rotámetro regulador y quemador de acero al cromo, cada una. Tiene también válvulas de cierre rápido y seguridad, instrumentos de control de reducción y presión.

Se muestra un diagrama del sistema de gas combustible.

TABLA 2

DATOS TECNICOS DE LOS MATERIALES AISLANTES

Designación de ladrillos aisladores	BD1	Densidad en Masa 0.7	Ladrillo para Arco Tapa	Ladrillo de Tapa Moldeaso	Fibra cerámica	Lana Mineral
Límite de Aplicación °C	1350	950	1350	1400	1250	700
Densidad en Masa Kg/cm ³	1050	700	1050	1250	100	130
Resistencia a la comprensión en frío Kp/cm ²	40	40	40	60	-	-
CONDUCTIVIDAD 400°C	0.36	0.163	0.36	0.40	0.087	0.101
TERMICA 800°C	0.42	0.194	0.42	0.48	0.182	-
Kcal/mh°C 1200°C	0.50	-	0.50	0.58	0.323	-

La Densidad en Masa de la Fibra Cerámica es entendida como una densidad rellena, igualmente es válido para la Lana Mineral hasta ésta no sea especificado como Cartón Corrugado.

TABLA 3

DATOS TECNICOS DEL CONCRETO AISLANTE

GRADO A (En el centro de los hornos)

Límite de aplicación	1000°C	
Conductividad Térmica A	400°C	1000°C
Kcal/MH°C	0.4	0.47
Composición para 1m ³ de Concreto	180 Kg	
Granos de Arcilla refractaria 0-1mm	360 Kg	
Granos de Arcilla refractaria 0-3mm	220 Kg	
Granos ligeros de Arcilla refractaria 0-4mm	240 Kg	
Granos ligeros de arcilla refractaria 4-10mm	22 Kg	
Cemento de Alumina fundida	180 Kg.	

GRADO B (En el piso del Horno)

Límite de aplicación	550°C
Conductividad térmica Kcal/mh°C	Cerca de 0.45
Densidad en Masa	1.0 g/cm ³
COMPOSICION:	
Cemento: Arena:Pomez = 1:1:8	

Ceniza Volcánica, escoria de alto horno o escoria de caldero puede ser usado en cambio de Pomez.

TABLA 4

DATOS TECNICOS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

LADRILLOS ROJOS:

Densidad en Masa 1.6 g/cm³
Resistencia a la Comprensión 150 Kp/cm²

Al usar ladrillos huecos, la superficie de los hornos no exederá el 15% de la superficie total.

ARENA

Granulación 0-3 mm

CEMENTO:

Cemento PORTLAND

CAL:

Cal Apagada de Construcción

CONCRETO POBRE:

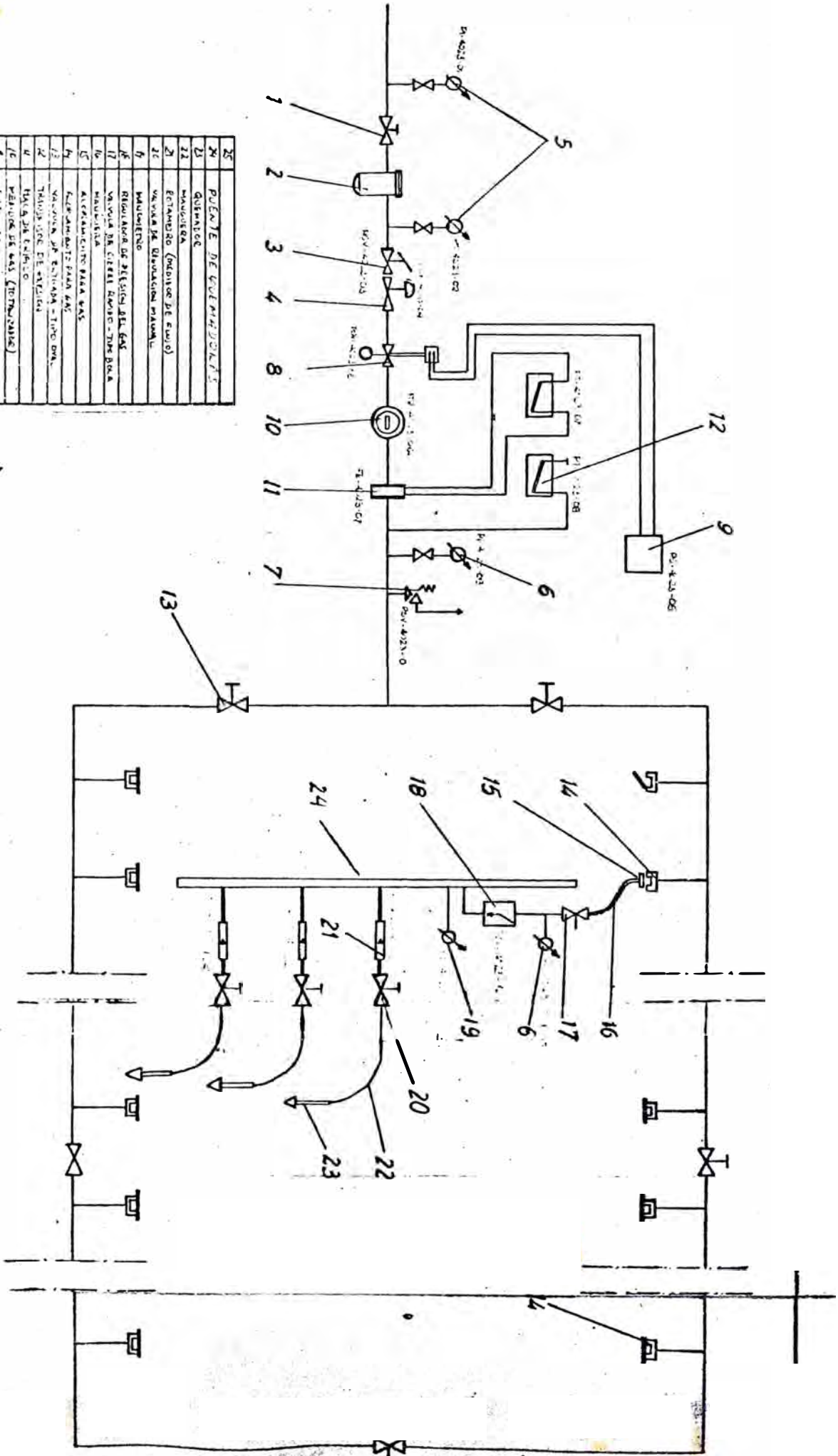
Resistencia a la comprensión

Cerca de 80Kp/cm²

Radio de Mezcla

Cemento:Arena/Grava = 1:10

20	PUENTE DE CONTROL DE PRESIONES
21	QUEMADOR
22	MANUJETA
23	ESTANDBO (funcion de escape)
24	VALVULA DE REGULACION MANUA
4	MANUJETA
6	REGULADORA DE PRESION DEL GAS
17	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA
18	ALTERNADOR PARA GAS
19	VALVULA DE ENTUBADA - TIPO OVA
20	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA
21	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA
22	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA
23	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA
24	VALVULA DE CIERRE RAPIDO - TIPO BOLA MANUJETA



VENALUM
 PLANTA DE CARBON - HORNOS DE COCCION
 Diagrama de flujo del Sistema de Gas Combustible. 02.02.78 - R. Cuall's

