

ESCUELA      NACIONAL      DE      INGENIEROS

Departamento de Ingeniería Química

FABRICA DE LITOPON

Proyecto presentado  
por el Ex-alumno  
José Menache Vadillo  
para obtener  
el título de

INGENIERO    QUIMICO    INDUSTRIAL

Promoción 1950

L I T O P O N

Es un pigmento blanco formado por una mezcla de sulfato de bario precipitado y sulfuro de zinc precipitado.

Se obtiene por la reacción entre dos soluciones; una de sulfato de zinc y la otra de sulfuro de bario.

Esta reacción se desarrolla cuantitativamente según la ecuación:



Se obtiene el litopón con un mayor contenido de sulfuro de zinc trabajando según las ecuaciones siguientes:



Actualmente la sociedad alemana Lithopone Kontor G. m. b. H. tiene en el mercado las siguientes clases de litopón.

Sello de Plata con 60 % de ZnS

Sello de Bronce con 50 % de ZnS

Sello Verde con 40 % de ZnS

Sello Lila con 35 % de ZnS

Sello Rojo con 30 % de ZnS

Sello Amarillo con 15 % de ZnS

Breve Historia

El litopón fue obtenido por primera vez en 1853 por De Douhet tratando una solución de sulfato de zinc con otra de sulfuro de bario e introduciéndolo en el comercio con el nombre Blanco Metálico .

J.B. Orr de Glasgow, Inglaterra, en 1874 obtuvo el pigmento de la misma manera pero lo sometió a un proceso de recocido y enfriamiento brusco "para hacerlo mas denso y mas blanco".

Boulez en 1877 introdujo el nombre de Litopón que tuvo aceptación, pues antes se le conocia con diversos nombres; entre estos puedo citar : Sulfuro Blanco de Zinc, Sulfuro Blanco, Blanco de Zincolita, Blanco Esmalte, Blanco Griffith, Blanco Knight, Blanco Charlton, Blanco Orr, etc.

### Propiedades.

El litopón como pigmento en las pinturas de aceite hace a éstas secar mas despacio que en las pigmentadas con blanco de plomo (mezcla de carbonato de plomo con hidroxido de plomo ) pero mas rapido que las que usan blanco de zinc (oxido de zinc).

Las pinturas con litopón son sin embargo de escasa duración comparadas con las pinturas al oleo con blanco de plomo, mayormente si se hallan expuestas a la acción del ambiente como las pinturas de exteriores. Para interiores es muy apreciado el litopón.

La poca estabilidad de las pinturas al oleo con litopón, su tendencia a formar grietas y al desprenderse se explican por el hecho de que el sulfuro de zinc no reacciona con el aceite de linaza para formar un jabón.

El poder refringente al cual se debe la propiedad de cubrir aumenta con el contenido de sulfuro de zinc, de ahí que sea mas apreciado el litopón cuanto mas sulfuro de zinc tenga en su composición .

El índice de refracción con respecto al aire del sulfuro de zinc puro es 2.369 y el índice del sulfato de bario puro es de 1.64; para las clases de litopón con un contenido medio de sulfuro de zinc,

el índice de refracción varía entre 1.99 y 2.04 .

El peso específico del litopón varía también con la composición debiendo calcularse sobre la base de 4 para el sulfuro de zinc y 4.5 para el sulfato de bario.

El inconveniente del litopón es su falta de estabilidad a la luz, pues por acción de ésta se oscurece poco a poco y toma un color gris.

En la oscuridad recobra otra vez su color.

La causa de este fenómeno es discutida todavía. El sulfuro de zinc puro lo presenta también aunque en pequeña escala como así mismo una mezcla de sulfuro de zinc y sulfato de calcio.

Se ha demostrado que los causantes de la alteración del color son los rayos de onda corta de 200 a 300 milimicrones de longitud de onda; en cambio desde el punto de vista químico no se ha podido determinar sobre qué actúan estos rayos.

Steiman tiene la opinión de que es debido a la presencia de pequeñas cantidades de cloruro de zinc que se introducen durante el proceso de fabricación; pues el litopón estable a la luz o el mismo sulfuro de zinc se hacen sensibles a la luz tratándolos con indicios de cloruro de zinc.

Excluyendo completamente el cloro se podría pues producir un producto irreprochable. Sin embargo no se excluye el cloro por completo porque es indudable que algo de cloruro mejora las propiedades físicas del litopón.

Hay una serie de procedimientos utilizados para obtener litopón resistente a la luz muchos de los cuales se mantiene en secreto. Otro procedimiento de que por sí son practicables resultan anti-

económicos o tienen el inconveniente de desmejorar el producto haciéndole perder su fuerza cubridora o su fineza.

Entre estos numerosos procedimientos existentes para producir litopón resistente a la luz puedo citar los siguientes:

- a) Tratamiento del litopón concluído con un nitrito alcalino y carbonato de magnesio.
- b) Adición de jabones alcalino terreos o de alúmina
- c) Adición de fosfatos o silicatos alcalino terreos y adición de sales alcalinas.
- d) Adición de nitratos alcalinos.
- e) Acción electrolítica sobre el litopón lavado.
- f) Tratamiento con ácido sulfúrico durante la precipitación.
- g) Eliminación completa de metales extraños.
- h) Adición de dióxido de titanio.
- i) Adición de pequeñas cantidades de cobalto.

El procedimiento a usarse en el presente proyecto es calentar el litopón a la temperatura del rojo en un horno de mufla y apagarlo bruscamente introduciéndolo en agua.

#### Impurezas

Según sean las impurezas contenidas en la solución de sulfato de zinc que ha servido para la producción de litopón puede éste contener pequeñas cantidades de plomo, cadmio, talio, níquel, cobalto, fierro, manganeso, aluminio, calcio, magnesio, etc.

Por el proceso de calentamiento y enfriamiento brusco en agua una parte del sulfuro de zinc puede ser convertido en óxido de zinc, carbonato de zinc, oxiclорuro de zinc, sulfato de zinc, etc.

## Especificaciones Standard para Litopón (')

A.S.T.M. Designación D 208 - 26

Estas especificaciones están clasificadas bajo la designación fija D 208; el número final indica el año de adopción original como standard; en el caso de revisión indica el año de la última revisión.

1) Estas especificaciones comprenden al pigmento blanco consistente de sulfuro de zinc y sulfato de bario comercialmente conocido como Litopón. El pigmento puede ser adquirido en la forma de pigmento seco y mezclado con aceite en la forma de pasta.

### Manufactura

- 2)a .- Pigmento seco.- El pigmento puede ser hecho por un conveniente tratamiento de una mezcla de sulfuro de zinc precipitado y sulfato de bario precipitado.
- 3)b .- Pasta .- La pasta puede ser hecha por mezcla del pigmento seco con el aceite de linaza y posterior molinda de esta mezcla.

### Propiedades y Pruebas

a .- El comportamiento ante la luz, su capacidad de mezcla con un vehículo apropiado, su consistencia final con este vehículo y el color serán iguales a una muestra mutuamente convenida entre comprador y vendedor; igualmente su claridad y poder cubriente no serán menores que dicha muestra.

b .- Pigmento seco .- El pigmento seco deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

	% Max.	% Min.
Residuo total retenido		
en malla # 325	1	
ZnS		26
ZnO	2	

	% Max.	% Min.
Material soluble en agua	0.8	-
SO <sub>4</sub> Ba		98 % del resto

c. - Pasta.- La pasta no deberá aglomerarse en el recipiente que la contiene y por adición de aceite deberá formar una pintura uniforme capaz de ser aplicada con brocha.

Se mezclará fácilmente, en toda proporción y sin cuajarse con aceite de linaza, trementina, solventes de petróleo, o mezclas de estas sustancias.

La pasta debe cumplir con los siguientes requerimientos:

	% Max.	% Min.
Pigmento	80.0	76.0
Aceite de linaza	24.0	20.0
Residuo total retenido en malla #325 ( porcen- taje sobre el pigmento seco )	1.5	---

4) a.- Pasta.- Una muestra será tomada al azar de cada lote de 1000 cajas

b.- El pigmento seco será muestreado tomando una pequeña cantidad de cada 10 barriles o de cada ciento de bolsas.

( ' ) Traducción de la página 582 del libro :

Book of A.S.T.M. Standards

1936 ; Part 2 No Metallic Materials

Published by:

American Society for Testing Materials

## MATERIAS PRIMAS

### Sulfato de Bario

Se halla en la naturaleza bastante extendido y la especie mineralógica se le conoce con el nombre de Espato Pesado o Baritina.

Se le encuentra generalmente en el estado cristalino constituyendo la ganga de distintas formaciones montañosas.

Cristaliza en formas sumamente variadas, pero pertenecientes todas al sistema rómbico.

Su peso específico varía de 4.3 a 4.7 y su dureza de 3 a 3.5

Se encuentra baritina hasta de 99 % de pureza de sulfato de bario.

Como principales impurezas se encuentra casi siempre sílice óxido férrico y alúmina; a veces se halla también calcio magnesio y estroncio en forma de sulfatos o carbonatos; ocasionalmente se presenta galena, pirita calcopirita blenda y fluor.

La baritina por usar va a ser suministrada a la fábrica en trozos de distinto tamaño y su composición promedio será;

SO <sub>4</sub> Ba	97.00 %
CO <sub>3</sub> Ca	0.95 %
CO <sub>3</sub> Mg	0.15 %
SiO <sub>2</sub>	0.40 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50 %
Humedad _____	0.65 %

### Sulfuro de Bario

Este compuesto no se puede considerar como materia prima fundamental porque se obtiene por reducción del sulfato de bario.

El sulfuro de bario es una masa gris pulverulenta fofofa que del aire absorbe anhídrido carbónico y se oxida. Es soluble en agua.



Se obtiene calentando una mezcla de sulfato de bario y carbón. Para que se efectúe la reducción el sulfato de bario debe estar en íntimo contacto con el carbón, por lo cual antes se amasaba las sustancias finamente divididas con alquitrán, asfalto, resina, etc se moldeaba la masa en briquetas que se calentaban luego.

Es posible efectuar la reducción en hornos de reverbero de trabajo continuo y de trabajo intermitente.

En el primer caso se carga el material por una puerta de trabajo en el punto más alejado del quemador y gradualmente se va corriendo al otro extremo mientras se sigue agregando periódicamente material al otro extremo.

En caso de trabajo discontinuo, toda la carga se esparce de una vez en el horno en forma de capa de varios centímetros de espesor.

También se puede emplear horno de retorta y de mufla de trabajo discontinuo.

Actualmente se muele finamente la baritina y el carbón, se mezclan íntimamente y se introducen en un horno rotatorio.

El horno rotatorio puede ser de trabajo continuo y de trabajo, intermitente. En el presente proyecto voy a emplear un horno intermitente que trabaja dos cargas al día.

Las impurezas contenidas en la baritina complican el proceso. Un alto contenido de fierro y de sílice hace que un gran porcentaje del sulfuro de bario se convierta en un complejo de silicato ferri- to y carbonato de bario. Este complejo es insoluble en agua aunque soluble en ácido.

### Sulfato de Zinc

Tampoco es una materia prima fundamental para la fábrica porque la materia prima fundamental es el concentrado de blanda.

El concentrado de blenda se somete a un proceso de tostación y lixiviación.

El concentrado de blenda que se suministra a la fabrica tendrá el siguiente análisis promedio:

Humedad	2.3 %
Zinc	58.0
Plomo	1.0
Cobre	0.2
Arsénico	0.7
Estaño	0.007
Germanio	0.001
Fierro	4.0
Manganeso	0.83
Calcio	0.24
Antimonio	0.03
Magnesio	0.07
Azufre	32.0
Alúmina	0.16
Sílice	0.072
Cadmio	0.32
Cobalto	Trazas
Niquel	Trazas
Plata	502 gr/Ton
Oro	0.0202 gr/Ton

Carbón

El carbón que se va a usar es hulla, siendo suministrado a la fábrica en trozos de distintos tamaños, debiendo ser sometido a la operación de molienda .

El análisis promedio del carbón será:

Carbón fijo	75.0 %
Agua	3.5
Ceniza	10.5
Materias volátiles	11.0

### UBICACION DE LA PLANTA

#### Factores que se debe tener en cuenta

a) Mercado.-El mercado para el litopón esta reducido en el Perú a la ciudad de Lima donde hay 10 fábricas de pintura que consumen un promedio de 600 toneladas anuales y que importan de los Estados Unidos de Norte América.

Estando Chosica bastante cercana a Lima, es ese un lugar bastante conveniente para la instalación de la planta pues estaría situada bastante próxima al mercado.

b) Materias Primas.- En cualquier lugar de Lima y sitios próximos (por ejemplo Chosica) es fácil la obtención de las materias primas como son la baritina, el carbón, el concentrado de zinc etc., pues hay compañías que se encargan de suministrarlas en estos sitios .

c) Mano de Obra.- En los momentos actuales ésta es de fácil obtención en la región de Lima, puesto que no se necesita obreros especializados de ninguna clase.

d) Fuentes de Fuerza.- Todo el equipo de la fábrica va a funcionar con motores eléctricos. Actualmente en la ciudad de Chosica es posible la obtención de fuerza eléctrica debido a la reciente inauguración de la nueva central eléctrica de Moyopampa.

e) Transportes.- Lima es el centro de transportes del país por lo cual en ella no hay dificultades en cuanto se refiere a este factor ya sea para la obtención de materias primas o para el transporte del producto terminado.

Estando Chosica muy cercana a Lima puede considerarse a aquella como parte integrante de la red de comunicaciones de la capital.

f) Terreno Disponible.-En la zona de Lima y lugares cercanos existe terreno disponible para la construcción de la fábrica. Chosica tiene la ventaja sobre Lima en lo que se refiere al costo del terreno, debido a que en esa ciudad es menor el costo que en la metrópolis.

g) Restricciones Municipales.-La única restricción municipal posible de haber sería la referente al  $SO_2$  producido en la tostación de la blenda.

Para cumplir con esta restricción municipal los gases producidos en la tostación se les debe hacer pasar por una torre rellena con trozos de carbonato de calcio y en contra corriente con agua la cual absorbe la mayor parte del  $SO_2$ .

h) Existencia de Agua.-La fábrica va a trabajar con agua proporcionada por un pozo perforado en la misma fábrica, por lo cual la existencia de ésta no es ningún problema.

i) Facilidades Financieras.- Chosica por su proximidad a Lima puede considerarse que goza de las mismas facilidades financieras que la capital.

Teniendo en cuenta todos estos factores, lo más lógico es la instalación de la fábrica en la ciudad de Chosica.

### CAPACIDAD DE LA FABRICA

La fábrica va a ser diseñada para una producción diaria de 5 toneladas métricas de litopón.

Para determinar la capacidad he tenido en cuenta lo siguiente:

a) El consumo nacional de litopón según datos extraoficiales se puede estimar en 600 toneladas anuales; es decir que desplazando completamente al producto importado la fábrica debe producir 2 toneladas métricas diariamente .

b) Para una producción de 2 toneladas diarias de litopón, de tal manera que la reducción de la baritina necesaria se haga en dos cargas se requiere un horno rotatorio muy pequeño, el cual es poco eficiente.

Se puede hacer la reducción de la baritina necesaria en una sola carga, usando un horno de dimensiones más o menos iguales a las del horno que se va a usar para 5 toneladas diarias ( 2.5 toneladas por carga) pero tiene el inconveniente de que se tiene el horno solo prendido 3 horas de las 8 horas de régimen de trabajo normal de la fábrica, por lo tanto se tendría un mayor capital invertido que el estrictamente necesario.

c) Para la producción de 2 toneladas diarias de litopón se necesita 0.8 toneladas de sulfato de zinc.

Un horno de tostación para esta pequeña cantidad no sería económico. No es posible tampoco la adquisición de sulfato de zinc en el mercado por su alto precio.

d) Igualmente, no hay equipo como chancadora, molinos, bombas etc. que puedan manejar tan pequeña cantidad de material en proceso; por lo que habría que adquirir equipo de mayor capacidad lo cual no sería económico.

e) Existe el inconveniente que produciendo 5 toneladas diarias hay un exceso de 3 sobre el consumo normal. Este inconveniente se subsana exportando el excedente a los países vecinos donde se puede competir con litopón americano por el bajo precio a que se puede vender el producto, debido al menor costo de producción, por efecto del menor costo de la mano de obra y también por el menor costo de transporte por efecto de la distancia mas corta .

#### VENTAJAS DE LA INSTALACION DE UNA FABRICA DE LITOPON EN EL PAIS

Son innumerables las ventajas que reportaría al país la instalación de una fábrica de litopón; entre ellas puedo considerar las siguientes:

1).-El precio de litopón en el Callao sin considerar los derechos de aduana es 3.00 soles por Kg.. El costo de 600 toneladas anuales sería un millón ochocientos mil soles o sea mas o menos 120000 dolares americanos.

Fabricando el litopón en el Perú se evitaría la salida del país de 10000 dolares mensuales; no solo esto sino que además también habría el ingreso de divisas extranjeras por efecto de la exportación a los países vecinos del excedente de producción .

2).-Se emplearía obreros, personal técnico y empleados peruanos para hacer el trabajo que actualmente lo hacen extranjeros en el extranjero.

3).-Se consumiría materias primas nacionales por lo tanto, se activaría a otras industrias nacionales.

## DESCRIPCION DE LA FABRICA

### Procedimiento de Fabricación

El procedimiento de fabricación comprende 3 circuitos:

- a).- Circuito Bario
- b).- Circuito Zinc
- c).- Circuito Litopón

El circuito bario comprende las operaciones y procesos necesarios para la preparación de la solución de sulfuro de bario.

El circuito zinc comprende las operaciones y procesos necesarios para la preparación de la solución de sulfato de zinc.

El circuito litopón, a su vez también, comprende las operaciones y procesos a partir de la reacción de las soluciones anteriores hasta la obtención del producto terminado y listo para su venta.

### Circuito Bario

Comprende las siguientes operaciones: -

- a).- Almacenamiento de materias primas
- b).- Molienda de las materias primas
- c).- Pesada y mezcla de las materias primas
- d).- Transporte y alimentación al horno rotatorio.

Únicamente se lleva a cabo el proceso de reducción del sulfato de bario.

### Almacenamiento de Materias Primas

Almacenamiento de baritina.- El almacenamiento de la baritina se llevará a cabo en un depósito de piso de concreto cuyas dimensiones son 9 metros de largo 7 metros de ancho y 4 metros de alto.

Almacenamiento de carbón.- Se efectúa en un depósito de 5 metros de largo 4.5 metros de ancho y 4 metros de alto.

Molienda de materias primas

Molienda de baritina.- La baritina se suministrará a la fábrica en trozos de diversos tamaños debiendo molerse hasta malla # 100. Para el efecto se usa un circuito que consta de una chancadora con un molino de bolas con clasificador de aire.

La baritina es alimentada a la chancadora, la cual descarga sobre una tolva. La tolva tiene una compuerta que da sobre una faja transportadora que alimenta el molino de bolas.

Mediante la graduación de la compuerta se consigue una alimentación constante a voluntad del operador.

El molino y la chancadora están colocados en el mismo depósito de la baritina.

Molienda de Carbón.- La molienda de carbón se efectúa en un molino de martillo que está también colocado en el mismo depósito de carbón.

Pesada de las Materias Primas.

La pesada de la baritina y el carbón se efectuará en balanzas de plataforma colocadas en los mismos depósitos.

Mezcla de las Materias Primas.

Una vez pesado el carbón y la baritina son transportados manualmente al cuarto de mezcla que es una habitación de piso de concreto de 5 metros de largo 2.5 de ancho 4 metros de alto. En este cuarto está colocada la mezcladora.

Transporte y Alimentación al Horno.

Una vez mezcladas las materias primas se les coloca en sacos y se transporta éstos manualmente al pie del horno.

Los sacos son subidos mediante un montacargas a una plataforma



elevada sobre el horno. En esta plataforma hay dos tolvas donde se descarga los sacos. Las tolvas tienen sus aberturas de descarga colocadas sobre las aberturas en el horno rotatorio.

Un hombre colocado en una plataforma situada bajo la anterior quitará las tapas a las aberturas del horno rotatorio, abrirá las compuertas de descarga de las tolvas introduciendo la mezcla preparada al horno rotatorio.

### Descripción del Horno Rotatorio

El horno rotatorio es un cilindro de planchas de fierro de 0.5". Tiene 20 pies de longitud y 7 pies de diámetro. Está colocado 7 pies sobre el nivel del piso y sobre dos muros de concreto ciclopeo. Gira apoyado, un extremo sobre dos rodillos, habiendo en el otro extremo un piñón por donde se le trasmite el movimiento.

El cilindro está recubierto interiormente de una capa de ladrillo refractario de cromo de 6" de espesor.

Tiene 4 aberturas con sus respectivas tapas y que es por donde se efectúa la carga y descarga del horno.

Dos pies encima del horno hay una plataforma metálica usada para colocarse el obrero que destapa el horno y abre la compuerta de la tolva.

Colocada a 5.5 pies encima de la plataforma anterior hay otra de iguales características y donde están colocadas las tolvas de alimentación. En esta plataforma se coloca el obrero que va a descargar los sacos con la mezcla de carbón y baritina.

Los gases de escape del horno pasan por una cámara de polvo donde se precipita el material arrastrado por ellos y de donde se le recupera diariamente por una puerta colocada a un costado de la cámara. El horno gira a una velocidad de dos rpm.

## Reducción de la Baritina

Una vez colocada la mezcla dentro del horno se hará girar a éste y se encenderá los quemadores.

La reacción que se produce dentro del horno es la siguiente:



Para que se efectúe esta reacción es necesario que los cuerpos reactantes estén a 1600 °F .

Para que los cuerpos reactantes alcancen esta temperatura es necesario que transcurra mas o menos una hora. Después de esta hora es que comienza propiamente el proceso de reducción.

Este proceso, como se calculará mas adelante, dura 2 horas. Por lo tanto una carga estará dentro del horno 3 horas.

Al final de las 3 horas se apagará los quemadores, se parará el horno de tal manera que dos de sus aberturas queden en la parte superior las que se destaparán. Enseguida se le hace dar media revolución y se destapa las otras dos aberturas.

Una vez hecho esto se pone nuevamente en movimiento el horno de tal manera que el material que contiene es descargado por las aberturas debido a la rotación.

El producto cae a un plano inclinado resbalando ayudado por una corriente de agua y pasando a un tanque que contiene agua.

El tanque tiene un agitador, al cual se le hace funcionar una vez completada la descarga, efectuándose la solución del sulfuro de bario. Este tanque estará bajo el nivel del piso.

La solución de sulfuro de bario contiene en suspensión impurezas principalmente sulfato de bario, las cuales deben ser separadas.

Para el efecto la solución es bombeada a otro tanque para que sedimente el residuo.

En este momento se completa el circuito Bario.

### Cicuito Zinc

Comprende las siguientes operaciones:

a).-Almacenamiento de la materia prima (blenda)

b).-Pesada y alimentación al horno.

Comprende a su vez el proceso de oxidación pasando parte del sulfuro de zinc a óxido de zinc y parte a sulfato.

Este proceso se le conoce con el nombre de Tostado, llamándose al producto que sale del horno Calcina

Almacenamiento de la materia prima.-El almacenamiento del concentrado de blenda se efectúa de 1.8 m de ancho por 9 m de largo y 4 m de alto.

En este mismo cuarto estará la balanza donde se va a pesar la blenda para después transportarla manualmente al horno de reverbero.

Tostado de la blenda .-El tostado de la blenda lo mismo que la de los otros sulfuros consiste en quemar el azufre con exceso de aire. Con este fin la blenda debe calentarse primero a la temperatura de inflamación, la cual es 480 °C para las blendas pobres en fierro ( 66.3 % de Zn , 0.4 % de Fe , 31.4 % de S ) y 515 °C para las blendas ricas en fierro ( 54 % de Zn , 8.8 % de Fe , 3.8 % de Pb y 31.4 % de S )

Alcanzada la temperatura de inflamación entra en juego el calor de la reacción; reacción que es exotérmica.

La ecuación es la siguiente:



A pesar de ser esta reacción fuertemente exotérmica debe aportarse calor del exterior por lo menos al final de la reacción.

El  $\text{SO}_2$  por acción catalítica de los óxidos metálicos y de la alta temperatura del horno se combina con el oxígeno en exceso para formar  $\text{SO}_3$  el cual forma sulfato de zinc sobre todo al principio del trabajo.

La presencia de sulfuros extraños como galena pirita sulfuros de cobre y antimonio favorecen la formación de sulfato.

La formación de sulfato de zinc es perjudicial para el tratamiento metalúrgico del zinc pero no para la fabricación de litopón donde se persigue precisamente la preparación de sulfato de zinc.

Por encima de los  $700\text{ }^\circ\text{C}$  se produce la descomposición del sulfato de zinc dando  $3\text{ZnO} \cdot 2\text{SO}_3$  desprendiéndose después a  $767\text{ }^\circ\text{C}$  el  $\text{SO}_2$  por lo cual debe evitarse que la temperatura se eleve.

La descomposición completa ocurre con tanta mayor rapidez cuanto mas rápidamente son separados los productos gaseosos de la descomposición :  $\text{SO}_3$  ,  $\text{SO}_2$  ,  $\text{O}_2$

También el espesor de la capa de mineral sometido a la tostación desempeña un papel importante en la formación y descomposición del sulfato ,pues la separación rápida de los productos gaseosos de la descomposición es mas dificultosa cuando se trata de desalojarlos del interior de una capa gruesa que cuando se trata de hacerlo de una capa delgada.

Se admite tambien que con el íntimo contacto del sulfuro y el sulfato se verifica la reacción:



El proceso de tostación de la blenda no deja de ser influenciado notablemente por la presencia de materiales extraños al mineral.

El fiero que se encuentra casi siempre en forma de pirita favorece la formación de  $\text{SO}_3$  y de sulfato de zinc y cuando está en cantidad considerable, a causa de la fusibilidad de la pirita, provoca la formación de escorias.

A elevada temperatura (unos  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) el fierro contenido en la blenda provoca la formación de ferrito de zinc  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  si el fierro y el zinc se encuentran en estado de óxidos o si reaccionan el óxido de fierro y el sulfato de zinc.

Con un contenido elevado de pirita se forma una mata de fierro y zinc.

El manganeso lo mismo que el fierro forman el silicato.

El plomo se encuentra en la blenda casi siempre en forma de galena y mas raramente en forma de carbonato.

La galena funde a no muy alta temperatura y es perjudicial porque tiende a formar aglomeraciones.

Por la tostación se produce oxido de plomo y en cantidad preponderante sulfato que con los sulfuros de plomo y zinc se reduce a metal y se volatiliza.

El arsénico y el antimonio se volatilizan por completo en forma de oxidos. Cuando es posible la formación de arseniatos y antimoniatos permanecen con el material tostado.

El estaño se encuentra en la blenda en la forma de óxido y no se altera.

La sílice al rojo blanco forma silicato con el oxido de zinc pero si la temperatura se eleva demasiado y hay al mismo tiempo sulfuro de fierro, manganeso, plomo, cobre, etc. se forma casi siempre silicato fusibles.

Por esta razón tales blendas deben tostarse a una temperatura inicial mas elevada a fin de rebajar la duración del tratamiento.

## Reducción de la Baritina

Una vez colocada la mezcla dentro del horno se hará girar a éste y se encenderá los quemadores.

La reacción que se produce dentro del horno es la siguiente:



Para que se efectúe esta reacción es necesario que los cuerpos reactantes estén a 1600 °F .

Para que los cuerpos reactantes alcancen esta temperatura es necesario que transcurra mas o menos una hora. Después de esta hora es que comienza propiamente el proceso de reducción.

Este proceso, como se calculará mas adelante, dura 2 horas. Por lo tanto una carga estará dentro del horno 3 horas.

Al final de las 3 horas se apagará los quemadores, se parará el horno de tal manera que dos de sus aberturas queden en la parte superior las que se destaparán. Enseguida se le hace dar media revolución y se destapa las otras dos aberturas.

Una vez hecho esto se pone nuevamente en movimiento el horno de tal manera que el material que contiene es descargado por las aberturas debido a la rotación.

El producto cae a un plano inclinado resbalando ayudado por una corriente de agua y pasando a un tanque que contiene agua.

El tanque tiene un agitador, al cual se le hace funcionar una vez completada la descarga, efectuándose la solución del sulfuro de bario. Este tanque estará bajo el nivel del piso.

La solución de sulfuro de bario contiene en suspensión impurezas principalmente sulfato de bario, las cuales deben ser separadas.

Para el efecto la solución es bombeada a otro tanque para que sedimente el residuo.

En este momento se completa el circuito Bario.

### Cicuito Zinc

Comprende las siguientes operaciones:

a).-Almacenamiento de la materia prima (blenda)

b).-Pesada y alimentación al horno.

Comprende a su vez el proceso de oxidación pasando parte del sulfuro de zinc a óxido de zinc y parte a sulfato.

Este proceso se le conoce con el nombre de Tostado, llamándose al producto que sale del horno Calcina

Almacenamiento de la materia prima.-El almacenamiento del concentrado de blenda se efectúa de 1.8 m de ancho por 9 m de largo y 4 m de alto.

En este mismo cuarto estará la balanza donde se va a pesar la blenda para después transportarla manualmente al horno de reverbero.

Tostado de la blenda .-El tostado de la blenda lo mismo que la de los otros sulfuros consiste en quemar el azufre con exceso de aire. Con este fin la blenda debe calentarse primero a la temperatura de inflamación, la cual es 480 °C para las blendas pobres en fierro ( 66.3 % de Zn , 0.4 % de Fe , 31.4 % de S ) y 515 °C para las blendas ricas en fierro ( 54 % de Zn , 8.8 % de Fe , 3.8 % de Pb y 31.4 % de S )

Alcanzada la temperatura de inflamación entra en juego el calor de la reacción; reacción que es exotérmica.

La ecuación es la siguiente:



A pesar de ser esta reacción fuertemente exotérmica debe aportarse calor del exterior por lo menos al final de la reacción.

El  $\text{SO}_2$  por acción catalítica de los óxidos metálicos y de la alta temperatura del horno se combina con el oxígeno en exceso para formar  $\text{SO}_3$  el cual forma sulfato de zinc sobre todo al principio del trabajo.

La presencia de sulfuros extraños como galena pirita sulfuros de cobre y antimonio favorecen la formación de sulfato.

La formación de sulfato de zinc es perjudicial para el tratamiento metalúrgico del zinc pero no para la fabricación de litopón donde se persigue precisamente la preparación de sulfato de zinc.

Por encima de los  $700\text{ }^\circ\text{C}$  se produce la descomposición del sulfato de zinc dando  $3\text{ZnO} \cdot 2\text{SO}_3$  desprendiéndose después a  $767\text{ }^\circ\text{C}$  el  $\text{SO}_2$  por lo cual debe evitarse que la temperatura se eleve.

La descomposición completa ocurre con tanta mayor rapidez cuanto mas rápidamente son separados los productos gaseosos de la descomposición :  $\text{SO}_3$  ,  $\text{SO}_2$  ,  $\text{O}_2$

También el espesor de la capa de mineral sometido a la tostación desempeña un papel importante en la formación y descomposición del sulfato ,pues la separación rápida de los productos gaseosos de la descomposición es mas dificultosa cuando se trata de desalojarlos del interior de una capa gruesa que cuando se trata de hacerlo de una capa delgada.

Se admite tambien que con el íntimo contacto del sulfuro y el sulfato se verifica la reacción:



El proceso de tostación de la blenda no deja de ser influenciado notablemente por la presencia de materiales extraños al mineral.



El fierro que se encuentra casi siempre en forma de pirita favorece la formación de  $\text{SO}_3$  y de sulfato de zinc y cuando está en cantidad considerable, a causa de la fusibilidad de la pirita, provoca la formación de escorias.

A elevada temperatura (unos  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) el fierro contenido en la blenda provoca la formación de ferrito de zinc  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  si el fierro y el zinc se encuentran en estado de óxidos o si reaccionan el óxido de fierro y el sulfato de zinc.

Con un contenido elevado de pirita se forma una mata de fierro y zinc.

El manganeso lo mismo que el fierro forman el silicato.

El plomo se encuentra en la blenda casi siempre en forma de galena y mas raramente en forma de carbonato.

La galena funde a no muy alta temperatura y es perjudicial porque tiende a formar aglomeraciones.

Por la tostación se produce óxido de plomo y en cantidad preponderante sulfato que con los sulfuros de plomo y zinc se reduce a metal y se volatiliza.

El arsénico y el antimonio se volatilizan por completo en forma de óxidos. Cuando es posible la formación de arseniatos y antimoniatos permanecen con el material tostado.

El estaño se encuentra en la blenda en la forma de óxido y no se altera.

La sílice al rojo blanco forma silicato con el óxido de zinc pero si la temperatura se eleva demasiado y hay al mismo tiempo sulfuro de fierro, manganeso, plomo, cobre, etc. se forma casi siempre silicato fusibles.

Por esta razón tales blendas deben tostarse a una temperatura inicial mas elevada a fin de rebajar la duración del tratamiento.

La caliza cuando se trabaja a temperatura de 900°C se descompone y forma sulfato.

El bario se encuentra en la forma de espato pesado. Este no se altera, pues solo comienza a descomponerse a 1500°C .

#### Descripción del Horno de Reverbero

El horno estará situado en un edificio lo mas aislado posible del resto de la fábrica; será de ladrillo refractario de sílice de 4.5 pulgada de espesor.

Su dimensiones seran: 30 pies de largo 1 pie de alto de pared lateral y 7 pies de ancho de solera.

Estará colocado elevado 4 pies sobre el nivel del piso para facilitar las operaciones de carga descarga y avance del material.

El horno va a trabajar 24 horas diarias y 6 días a la semana.

El material se cargará por el extremo opuesto al quemador y cada vez se alimentará 370 libras; a su vez se descargará una cantidad equivalente de calcina.

La descarga se hará cada 2 horas por una abertura en el fondo de la solera próxima al quemador.

Una vez producida la descarga quedan solamente las dos terceras partes del horno cubiertas con material, por lo cual éste se hará avanzar mediante rastrillos hasta ocupar las dos primeras porciones de la solera cargandose material nuevo en la porción de la solera opuesta al quemador.

De la misma forma se procede con el total de cargas . Por lo tanto el tiempo de tostado será 6 horas.

Los gases producidos por el tostado contienen más o menos 11 % de anhidrido sulfuroso, el cual debe ser eliminado.

Para esto, los gases de combustión son tomados por un ventilador y hechos pasar por una torre de fierro rellena con trozos de carbonato de calcio y haciendose pasar agua en contra corriente, siendo absorbido en anhídrido sulfuroso enfriando además los gases que pueden ser expulsados directamente a la atmósfera.

La torre será de 15 pies de alto y 3 pies de diámetro.

Durante la carga, descarga y avance del material se produce escape de gases por la ventanilla de trabajo. Estos gases son tomados por otro ventilador colocado en el techo del edificio y conducidos a otra torre similar a la anterior pero más pequeña.

Los obreros que trabajan en el horno deben usar mascararas para protegerse de los gases durante las operaciones mencionadas mas arriba.

Igualmente las puertas que comunican con el resto de la fábrica deberán permanecer hermeticamente cerradas durante dichas operaciones para que los gases no molesten al resto del personal.

La calcina es recibida en un carrito, el cual se descarga en el cuarto de enfriamiento extendiéndola en el suelo lo más posible.

La calcina fria es puesta en sacos, pesada en una balanza de plataforma y llevada en forma manual al tanque de lixiviación donde se le agrega el ácido sulfúrico y el agua necesaria.

Aqui tambien se le agrega bióxido de manganeso para precipitar el fierro que impurifica la solución y polvo de zinc para precipitar otros metales que tambien impurifican la solución.

La suspensión es filtrada en un filtro prensa de acero inoxidable.

La solución ya libre de impurezas es recibida en un tanque para su almacenamiento.

En este momento termina el circuito del zinc.

## Circuito Litopón

Comprende un solo proceso unitario que es la reacción de las soluciones de (sulfato) de bario y (sulfuro) de zinc.

Comprende las siguientes operaciones unitarias:

- a).- Sedimentación del litopón crudo
- b).- Filtrado del litopón crudo.
- c).- Secado del litopón crudo.
- d).- Chancado de los cakes del litopón crudo
- e).- Calentamiento del litopón crudo en el horno de mufla.
- f).- Apagado del litopón caliente.
- g).- Molienda del litopón hasta malla # 325.
- h).- Sedimentación del litopón.
- i).- Filtrado del litopón.
- j).- Secado del litopón
- k).- Molienda, pesada y almacenamiento del litopón terminado

Reacción de las Soluciones de Sulfato de Zinc y Sulfuro de Bario.-

Esta reacción se lleva a cabo en dos tanques de madera con agitadores que trabajan en forma alternada, teniendo cada tanque capacidad para la tercera parte del volumen de las soluciones.

Una vez lleno un tanque ( las soluciones han reaccionado produciéndose el litopón ) la suspensión del litopón es bombeada a los tanques de sedimentación; habiendo 7 tanques de sedimentación para la carga de la mañana y 7 para recibir la carga de la tarde. Los tanques de sedimentación serán de madera.

Sedimentación del Litopón Crudo.- Una vez terminada la reacción entre las soluciones de sulfato de zinc y sulfuro de bario, y la suspensión del litopón totalmente contenida en los tanques de sedimentación, se deja a éste que sedimente. El tiempo de sedimentación,

como se verá posteriormente será de 20 minutos por tanque.

Transcurrido este tiempo se descarga el líquido claro por dos aberturas de 5 centímetros de diámetro cada una colocadas a 70 centímetros del borde del tanque.

Filtrado del Litopón Crudo.- El litopón ya espeso es bombeado de cada tanque mediante bomba de diafragma y hecho pasar a través de filtro prensas.

Se hará 6 operaciones con los filtros prensa para cada carga del día. Cada operación dura 2.5 horas. En total serán 15 horas de filtrado, por lo que es necesario colocar dos filtros prensas para que el filtrado de una sola carga del día dure 7.5 horas.

Cuando la segunda carga del día ya ha precipitado todavía está la mitad de los tanques de sedimentación llenos por lo cual es necesario poner otros 14 tanques de sedimentación.

Esta carga de Litopón se filtrará en un segundo turno de obreros y se secará al día siguiente.

Para iniciar el trabajo del día es necesario que haya litopón espeso en la mitad de los 7 segundos tanques de sedimentación.

Debe haber también una carga de solución de sulfuro de bario y otra de sulfato de zinc listas para reaccionar.

Secado del Litopón Crudo.- Los cakes provenientes del filtro prensa son colocados en bandejas y éstas a su vez, puestas en unos carritos de diseño especial (hechos con tubería de fierro soldada).

En cada carro se pondrá 22 bandejas. Las bandejas serán cuadradas de 2.5 pies de lado y 1.25 pulgadas de espesor. El material de las bandejas será malla metálica.

Cada carrito tendrá 3 pies de largo y habrá 8 carritos para contener una de las dos cargas que se hace en un día.

El secador será de paredes y techo de ladrillos con aberturas en la

parte superior de un extremo para la salida del aire húmedo y en la parte inferior del otro extremo para la entrada del aire caliente. Las dimensiones del tunel secador serán: largo 24 pies; ancho 4 pies y alto 6 pies.

La velocidad del aire en el secador será 360 pies por minuto.

El aire será calentado haciéndolo pasar exteriormente a unos tubos de acero por cuyo interior pasan los gases de combustión del horno rotatorio.

Los gases de combustión y el aire circulan en contra corriente.

El aire será suministrado por un ventilador cuyas características las daré posteriormente.

Igualmente será necesario usar otro ventilador para hacer que los gases de combustión pueda vencer la resistencia ofrecida por los tubos y puedan ser evacuados fácilmente.

El tiempo de secado será, como se verá posteriormente de 2 horas, al final de las cuales es descargado el secador y de nuevo vuelto a cargar. En esta operación puedo considerar que se emplea 30 minutos.

Para comenzar el trabajo del día debe haber las dos cargas del li-topón crudo que se fintró el día anterior.

La primera carga se introducirá a las 8 de la mañana que es la hora en que se prende el horno. A las diez de la mañana ya estará seca siendo descargada se colocará una carga nueva; en este momento son más o menos las 10 y 30 minutos de la mañana.

a las 11 de la mañana se para el horno rotatorio, luego la segunda carga ya tendrá media hora dentro del secador.

El horno estará listo para volver a funcionar a las 11 y 30 de la mañana y deberá funcionar hasta las 2 y 30 de la tarde.

La segunda carga del litopón crudo estará seca a la 1 de la tarde en que de deberá descargar.

Desde la 1 de la tarde hasta las 6 que es la hora de salida de la mayor parte del personal se realizará el secado de las otras dos cargas del litopón del segundo filtrado del día anterior.

Chancado de los Cakes del Litopón Crudo.-Los cakes ya secos son chancados en una chancadora siendo reducidos a trozos de 1" a 1.5" Para comenzar el trabajo del día debe haber una carga del día anterior por chancar.

Calentamiento del Litopón Crudo.-Como ya dije anteriormente el litopón que sale del secador no puede ser usado como pigmento blanco pues es inestable a la luz oscureciéndose. Para evitar esto es que se le somete a calentamiento hasta la temperatura del rojo y luego se enfria bruscamente introduciéndolo en agua.

El calentamiento se efectúa hasta la temperatura de 1300°F en un horno de mufla.

Para iniciar el trabajo del día debe haber una carga chancada ya lista para entrar al horno de mufla.

#### Descripción del Horno de Mufla

El horno será de ladrillos refractario de sílice de 4.5 pulgadas de espesor.

Sus dimensiones serán : largo del horno 16 pies; altura de las paredes laterales 2.5 pies; luz entre las paredes 5 pies.

El horno tendrá zanjás a los dos costados y a toda su longitud para facilitar a los obreros la carga y descarga. Las zanjás serán de 3 pies de profundidad.

Tendrá también 4 ventanas de 1 pie por 1.5 pie en cada costado del

horno, por donde se efectuará la carga y descarga del material.

La mufla será de plancha de carborundum de 1 pulgada de espesor.

Las dimensiones de la mufla serán: largo 15 pies; alto 2 pies; ancho 3 pies .

La mufla tendrá 4 aberturas en cada lado que coincidirán con las ventanas de trabajo.

Entre la mufla y las paredes exteriores habrá unos tabiques de refractario colocados para hacer que los gases de combustión recorran un camino sinuoso y se aproveche mas el calor. Debe haber por lo tanto una chimenea lo suficientemente alta para que provea el tiro necesario.

El litopón va a estar dentro del horno de mufla 3 horas al final de las cuales será descargado mediante lampas y será introducido en un tanque bajo que contiene agua.

Molienda del Litopón.-El litopón ya apagado es colocado en un conductor de tornillo el cual alimenta en forma constante a un molino de bolas que está en circuitos con un hidroseparador, y está destinado a producir litopón de malla # 325.

El molino debe trabajar una carga en 4 horas, por lo que debe haber una carga de litopón del día anterior ya apagada lista para ser pulverizada.

Del molino de bola pasa el litopón a los tanques de sedimentación que son de las mismas características que los usados anteriormente. Debe haber también la mitad de los 7 tanques de sedimentación con litopón del día anterior para comenzar a filtrar a las 8 de la mañana, pues como se ha visto el filtrado de una carga del día demora 7.5 horas. Por lo que para filtrar la otra carga será necesario otro turno de obreros.



Secado del Litopón.- Este secado es similar al del litopón crudo y se realiza trabajando el secador desde la 1 hasta las 6 de la tarde. Durante este tiempo se seca el litopón filtrado el día anterior.

Molienda.- El litopón que esta en forma de cakes debe ser pulverizado. Esto se realiza en un desintegrador que trabaja en circuito con un sedazo. Se molerá el producto secado el día anterior; luego, puede hacerse el trabajo en 8 horas.

Pesada.- Se realizará en una balanza de plataforma y se colocará el litopón en bolsa de papel yalisto para su venta .

Almacenamiento.- El almacenamiento del litopón ya colocado en bolsas se realizará en un cuarto de piso de concreto de 12 metros de largo, 4 metros de ancho y  $\frac{1}{2}$  de alto .

En este mismo cuarto se colocará el desintegrador y la balanza.

## CALCULO DEL HORNO ROTATORIO

### Balance de Calor

Cálculo del calor de reducción .- La reacción es la siguiente:



$$dH = \downarrow 50.14 \text{ cal / grmol}$$

$$dH = \downarrow 50.14 \times 1800 = 90500 \text{ Btu / lbmol}$$

$$dH = \frac{90500}{233.42} = \downarrow 388 \text{ Btu / lb de SO}_4\text{Ba}$$

Calor de reducción : 388 Btu / lb de SO<sub>4</sub>Ba

Calor Usado en Calentar el Sulfato de Bario .- El calor usado en el calentamiento se calcula por la fórmula siguiente:

$$Q = w.c.dt.$$

Siendo  $w = 1 \text{ lb} = 453 \text{ gr}$

$c =$  calor específico, que lo determino por la fórmula:

$$c = 21.35 \downarrow 0.0141T \quad T = 900 \downarrow 273 = 1173 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$= 21.35 \downarrow 0.0141 \times 1173$$

$$= 37.85 \text{ cal / grmol }^\circ\text{C}$$

$$= \frac{37.85}{233.4} = 0.162 \text{ cal / gr }^\circ\text{C}$$

$$Q = 453 \times 0.162 ( 900 - 20 )$$

$$Q = 66200 \text{ calg/lb}$$

$$Q = \frac{66200}{252} = 263 \text{ Btu / lb}$$

Calor Usado En Calentar el Carbón

Aplicando la fórmula  $Q = w.c.dt.$

Siendo  $w = 453 \text{ gr}$

$$c = 2.673 + 0.002617 T - \frac{116900}{T^2}$$

$$c = 2.673 + 3.07 - 0.083$$

$$c = 5.66 \text{ cal / grmol } ^\circ\text{C}$$

$$c = 0.472 \text{ cal / gr } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 453 \times 0.472 (900 - 20)$$

$$Q = 19200 \text{ cal / lb de carbón}$$

$$Q = 765 \text{ Btu / lb de carbón}$$

### Cálculo de los Productos de Combustión

Combustible por usar: Petroleo Industrial

Densidad API = 27.1 = 7.44 lb / gl = 0.892 de gravedad especifica

Poder calorífico bruto : 19344 Btu / lb

Composición del petroleo.- Puede asumirse; C 86 % y H 14 % debido a que tiene muy poco S y muy pocas cenizas.

Base del cálculo: una libra de combustible .- Habrá 0.86 lb de carbón y 0.14 lb de hidrógeno.

Si 12 lb de C reaccionan con 32 de O<sub>2</sub>

0.86 " " " " X " "

$$X = \frac{0.86 \times 32}{12} = 2.29 \text{ lb de O}_2$$

Si 1 lb de H raciona con 8 lb de O<sub>2</sub>

0.14 lb " " " " X " " "

$$X = 0.14 \times 8 = 1.12 \text{ lb de O}_2$$

Total de oxígeno: 2.29 + 1.12 = 3.41 lb de O<sub>2</sub>

Composición del aire :

Por volumen  $O_2 = 21 \%$        $N_2 = 79 \%$

Por peso       $O_2 = 23 \%$        $N_2 = 77 \%$

Cálculo del Nitrógeno.-

Si 3.41 lb de  $O_2$  es el 23 %

X lb de  $N_2$  será el 77 %

$$X = \frac{3.41 \times 77}{23} = 11.4 \text{ lbs}$$

Peso del aire por libra de petróleo =  $11.4 + 3.41 = 14.81 \text{ lb}$

Productos de combustión de 1 lb de petróleo

Si 12 lb de C dan 44 lb de  $CO_2$

0.86 lb " " " X " " "

$$X = \frac{0.86 \times 44}{12} = 3.15 \text{ lb de } CO_2$$

Si una lb de H da 9 lb de agua

• 0.14 " " H " X " " "

$$X = 0.14 \times 9 = 1.26 \text{ lb de } H_2O$$

Luego los productos de combustión serán:

$CO_2 = 3.15 \text{ lb} = 0.072 \text{ lbmol} = 13.1 \%$  por volumen

$H_2O = 1.26 \text{ lb} = 0.07 \text{ lbmol} = 12.8 \%$  " "

$N_2 = 11.4 \text{ lb} = 0.407 \text{ lbmol} = 74.1 \%$  " "

Cálculo de la Temperatura de los Gases de Combustión

Para calcular la temperatura de estos gases se procede de la siguiente forma :

Se asume una temperatura, y con ésta la capacidad calorífica promedio de cada gas a esa temperatura.

Con esta capacidad calorífica se halla el calor sensible que tiene cada gas. la suma de los calores sensibles debe ser igual al calor neto producido por el combustible.

se va asumiendo varias temperaturas hasta alcanzar la condición anterior.

El poder calorífico neto del petroleo es 18114 Btu / lb

Asumiendo 3000 °F se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 12.7 \times 2940 = 2690 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.07 \times 10 \times 2940 = 2050 \text{ " } \\ Q_{N_2} &= 0.407 \times 7.9 \times 2940 = 9450 \text{ " } \end{aligned}$$

$$Q \text{ Total} = 14190 \text{ Btu}$$

Asumiendo 3500 °F se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 12.9 \times 3440 = 3200 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.07 \times 10.3 \times 3440 = 2050 \text{ " } \\ Q_{N_2} &= 0.407 \times 8 \times 3440 = 11200 \text{ " } \end{aligned}$$

$$Q \text{ Total} = 16880 \text{ Btu}$$

;

Asumiendo 4000 °F se obtiene

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 13.3 \times 3940 = 3780 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.07 \times 10.6 \times 3940 = 2920 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 0.407 \times 8.1 \times 3940 = 13000 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 19700 \text{ Btu}$$

Con los respectivos valores de calor y temperatura construyo un gráfico, obteniendo 3720 °F como la temperatura de los gases de combustión.

CALCULO DE LAS DIMENCIONES DEL HORNO

El horno se calculará para una producción diaria de 5 toneladas métricas de litopón, en dos cargas.

La composición del litopón es la siguiente:



Si en 330.86 Kg de litopón entran 233.42 Kg de SO<sub>4</sub>Ba  
 en 5000. Kg " " " X " "

$$X = \frac{233.42 \times 5000}{330.86} = 3530 \text{ Kg de SO}_4\text{Ba puro}$$

El sulfato de bario es de 97 % de pureza

$$\text{Peso total} = \frac{3530}{0.97} = 3650 \text{ Kg de SO}_4\text{Ba}$$

Voy a determinar la cantidad de carbón necesaria



Si 233.42 Kg de SO<sub>4</sub>Ba reaccionan con 24 Kg de Carbón

3530 Kg " " " " X " " "

$$X = \frac{3530 \times 24}{233.42} = 365 \text{ Kg de carbón puro}$$

El carbón que se puede obtener es de 75 % de pureza (carbón fijo)

$$\frac{365}{0.75} = 485 \text{ Kg de carbón impuro (75 \% c.f.)}$$

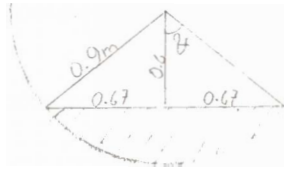
Se debe cargar 3650 + 485 = 4135 Kg de mezcla

Como se va a hacer dos cargas cada vez se cargará 2068 Kg (4560 lb)

Puede asumirse que el horno tiene una eficiencia de reducción

de 95 %; luego se va a cargar cada vez  $\frac{2068}{0.95} = 2180 \text{ Kg (4790 lb)}$

La mezcla de baritina y carbón tiene un peso específico de 1.33Kg/ por decímetro cúbico.



$$\text{sen } \theta = \frac{0.67}{0.90} = 0.745 \quad \theta = 48.3^\circ$$

$$\text{Area del círculo} = 0.785 \times 1.8^2 = 2.55 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del sector} = \frac{255 \times 48.3 \times 2}{360} = 0.686 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del triángulo} = 0.67 \times 0.6 = 0.402 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de la carga} = 0.686 - 0.402 = 0.284 \text{ m}^2$$

$$\text{Longitud del cilindro} = \frac{1.64}{0.284} = 5.8 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones del horno serán:

Longitud : 5.8 m (20 pies)

Diámetro interior : 1.8 m (6 pies)

Los refractarios por usar serán de Cromo de 6" de espesor

Diámetro interior del círculo : 72"

Diámetro exterior del círculo : 84"

Número de bloques para completar el círculo : 30

Número de bloques para completar un pie lineal de tubo : 90



### Calor Necesario Para Calentar la Carga

La carga que va a reaccionar dentro del horno es:

SO<sub>4</sub>Ba 1920 Kg (4230 lb)

Carbón 256 Kg (564 lb)

El calor necesario para calentar el sulfato de bario es 263 Btu / lb

El calor necesario para calentar el carbón es 765 Btu / lb

El calor total necesario para el calentamiento será:

SO<sub>4</sub>Ba 4230 x 263 = 1120000 Btu

Carbón 564 x 765 = 430000 "

Q Total 1550000 Btu

### Cálculo del Calor Irradiado por los Gases de Combustión

La composición de los gases que irradian es la siguiente :

CO<sub>2</sub> - 13.1 % por volumen

H<sub>2</sub>O = 12.8 % " "

Espesor de la capa de gases : 4.5 pies

Temperatura promedio.- Considerando una temperatura promedio entre las de entrada y salida (posteriormente demostraré que ésta es 1050°F) tomo 2000 °F como dicha temperatura promedio.

Temperatura de la carga : 1600 °F

#### Radiación del CO<sub>2</sub>

0.131 x 4.5 = 0.59

Con este valor se halla en el gráfico # 21 de la página 194 del libro Industrial Heat Transfer (Schack).

Radiación del gas a la carga : 5500 Btu /hr pie<sup>2</sup> ,

Radiación de la carga al gas : 3000 Btu /hr pie<sup>2</sup>

Radiación neta del gas a la carga : 5500 - 3000 = 2500 BTU / hr pie<sup>2</sup>

### Radiación del Agua

$$0.128 \times 4.5 = 0.58$$

Radiación del gas a la carga: 14000 Btu / hr pie<sup>2</sup>

Radiación de la carga al gas: 7000 Btu / hr pie<sup>2</sup>

Radiación neta del gas a la carga: 14000 - 7000 = 7000 Btu /hr pie<sup>2</sup>

Radiación neta total : 2500 + 7000 = 9500 Btu / hr pie<sup>2</sup>

Ancho de la carga : 67 x2 = 134 cm = 4.47 pies

Largo : 19.3 pies

Area de la superficie de la carga: 4.47 x 19.3 = 86.4 pies<sup>2</sup>

Calor total radiado, por los gases

$$86.4 \times 9500 = 820000 \text{ Btu} \cdot \text{hr}$$

Reradiación (5 % de radiación) : 41000 Btu / hr

Calor total recibido por la carga

$$820000 + 41000 = 861000 \text{ Btu} / \text{hr}$$

### Cálculo del Calor Almacenado en las Paredes

El horno está hecho de plancha de fierro de ~~2~~<sup>1</sup>/<sub>2</sub> pulgadas de espesor revestido interiormente con una capa de 6" de ladrillos refractarios de cromo que funden a temperatura superior a 2000 °C (mas de 3600 °F).

La temperatura de los gases en todo el horno puede considerarla promedio entre las de entrada y salida

La temperatura de entrada es 3000 °F

Como el horno que estoy calculando es intermitente, es decir que a lo mas va a trabajar 8 horas, durante casi todo este tiempo se va a realizar el calentamiento del horno.

Y como durante el período de calentamiento la cantidad de calor cedida a las paredes es mayor que la que pasa a través de ellas en el estado estacionario (hornos continuos) puedo considerar que los gases de escape salen con el 30 % del calor de entrada.

Luego se irán :

El calor contenido en los gases de escape a 3000 °F es

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 12.7 \times 2940 = 2690 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.07 \times 10 \times 2940 = 2050 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 0.407 \times 7.85 \times 2940 = 9350 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 14090 \text{ Btu}$$

$$14090 \times 0.30 = 4230 \text{ Btu}$$

Para calcular la temperatura de los gases con este contenido de calor asumo varias temperaturas y veo la cantidad de calor que tienen los gases a esas temperaturas, luego haciendo un gráfico temperatura-calor hallo la temperatura exacta.

Asumiendo 2500 °F

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 12.4 \times 2440 = 2180 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.07 \times 9.7 \times 2440 = 1650 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 0.407 \times 7.75 \times 2440 = 7700 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 11530 \text{ Btu}$$

Con este valor y con el hallado anteriormente extrapolo y encuentro que la temperatura de salida de los gases es 1050 °F

## Cálculo del Calor Absorbido por las Paredes

Debo considerar como primer punto el tiempo que dura cada carga dentro del horno.

Generalmente para este tipo de horno, para que la temperatura de la carga se estabilice en 1600 °F debe transcurrir más o menos una hora (Encyclopedia of Chemical Technology)

Tiempo que dura la reducción.-Este tiempo será

$$t = \frac{Q_r}{Q_i}$$

Siendo  $Q_i$  : calor irradiado por los gases = 861000 Btu / hr

$Q_r$  : calor necesario para la reducción

Se encontró que el calor de reducción era 388 Btu / lb  $SO_4Ba$  y se va a cargar 4230 lb ; el calor total será:

$$Q_r = 388 \times 4230$$

$$Q_r = 1640000 \text{ Btu}$$

El tiempo necesario será ;  $t = \frac{1640000}{861000} = 1.91$  horas

$$t = 2 \text{ horas}$$

Como se va a hacer 2 cargas al día el tiempo total que se va a tener prendido el horno será 6 horas. Debe considerarse también  $\frac{1}{2}$  hora como tiempo de carga y descarga.

El calor almacenado en las paredes se calcula por la fórmula corriente:

$$Q_a = w \cdot c \cdot (T_p - T_a)$$

Siendo  $w$ : peso total del refractario

$c$ : calor específico

$T_p$ : temperatura promedio entre las temperaturas exterior e interior de las paredes

$T_a$ : temperatura ambiente

Como temperatura interior voy a tomar una promedio entre las de entrada y salida de los gases o sea:

$$T_2 = \frac{3000 + 1000}{2} = 2000 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Para calcular la temperatura exterior del refractario voy a considerar que el horno esta prendido 6 horas en forma continua, no considerando las pérdidas de calor durante la  $\frac{1}{2}$  hora que el horno esta apagado.

Para el efecto uso la fórmula #53 del libro de Schack :

$$T_1 = T_2 - (T_2 - T_a)_f$$

Siendo f un coeficiente que se obtiene del gráfico # 5 del mismo libro.

Para obtener a éste se entra al gráfico por el eje de abcisas con el valor de

$$\frac{X}{2(at)^{\frac{1}{2}}}$$

Siendo X : distancia del plano cuya temperatura se desea, a la pared mas caliente. En mi caso es el espesor de la pared

$$X = 0.5 \text{ pies}$$

a : difusibilidad térmica dada por la relación

$$a = \frac{K}{cp}$$

Donde K : conductibilidad térmica a la temperatura interior

$$K = 1 \text{ Btu pie} / \text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

c : calor específico

$$c = 0.2 \text{ Btu} / \text{lb } ^\circ\text{F}$$

p : peso específico aparente

$$p = 188 \text{ lbs} \cdot \text{pie}^3$$

Reemplazando

$$a = \frac{1}{0.2 \times 188} = 0.0265 \text{ pie}^2 / \text{hr}$$

Luego el valor de la abscisa es:

$$\frac{0.5}{0.2 (0.0265 \times 6)^{\frac{1}{2}}} = 0.63$$

Con este valor se saca del gráfico que el coeficiente  $F$  es 0.63

Aplicando la fórmula se tiene.

$$T' = 2000 - (2000 - 60) 0.63$$

$$T' = 2000 - 1220$$

$$T = 780^{\circ}\text{F}$$

Esta fórmula solo da la temperatura que alcanzaría el material sino existiera el estado estacionario.

La temperatura estacionaria puede ser más baja o más alta. Para averiguar esto me valgo de un gráfico del libro *Efficient Use of Fuel* donde para cierto valor de una función  $X$  y para una temperatura interior determinada se halla la temperatura exterior.

$X$  es la relación entre el espesor en pulgadas y la conductibilidad en  $\text{Btu pulg / hr pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$

$$K = 11.8 \text{ Btu pulg / hr pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$L = 6 \text{ pulg}$$

$$X = \frac{6}{11.8} = 0.51$$

En el gráfico para una temperatura interior de  $2000 \text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) da una temperatura exterior de  $600 \text{ }^{\circ}\text{F}$ .

Luego debo tomar  $600 \text{ }^{\circ}\text{F}$  como temperatura exterior.

Hay que determinar el tiempo que demoró el horno para alcanzar los  $600 \text{ }^{\circ}\text{F}$ .

Para hacer esto aplico la fórmula anterior.

$$T_1 = T_2 - (T_2 - T_a) f$$

$$600 = 2000 - (2000 - 60) f$$

$$f = 0.725$$

Con este valor f hallo en el gráfico el valor de la relación

$$\frac{L}{2 (at)^{\frac{1}{2}}} = 0.725$$

reemplazando L y a

$$\frac{0.5}{2 (0.0265 t)^{\frac{1}{2}}} = 0.725$$

$$t = 4.8 \quad (5 \text{ horas})$$

Cálculo del peso del refractario .-

$$\text{Area transversal del refractario} = 0.7854 (7^2 - 6^2) = 10.2 \text{ pie}^2$$

$$\text{Volumen del refractario} = 10.2 \times 19.3 = 197 \text{ pies}^3$$

$$\text{Peso específico del refractario} = 188 \text{ lbs} / \text{pie}^3$$

$$\text{Peso total} = 188 \times 197 = 36800 \text{ lbs}$$

$$\text{Temperatura promedio del refractario} = \frac{2000 + 600}{2} = 1300 \text{ }^\circ\text{F}$$

La cantidad de calor almacenada en el refractario será :

$$Q = 36800 \times 0.21 (1300 - 60)$$

$$Q = 9500000 \text{ Btu}$$

Cálculo del Calor Almacenado en el Cilindro Metálico

$$\text{Area transversal de la plancha} = 0.7854 (97^2 - 96^2) = 1.18 \text{ pies}^2$$

$$\text{Volumen de la plancha} = 1.18 \times 19.3 = 22.8 \text{ pies}^3$$

$$\text{Peso específico del fierro} = 437 \text{ lbs} / \text{pie}^3$$

$$\text{Peso total} = 437 \times 22.8 = 10000 \text{ lbs}$$

Como la plancha de fierro es delgada puedo considerar que toda está a 600 °F .

$$\text{Calor específico del fierro} = 0.12 \text{ Btu} / \text{lb } ^\circ\text{F}$$

$$\text{El calor almacenado será } Q = 0.12 \times 10000 (600 - 60)$$

$$Q = 648000 \text{ Btu}$$

El calor total almacenado en las paredes del horno será :

$$Q_a = 9500000 + 648000$$

$$Q_a = 10148000 \text{ Btu}$$

El tiempo necesario para que las paredes alcancen el estado estacionario es de 5 horas, esto es si el horno trabajara continuo; pero al final de las 3 horas se le apaga media hora para carga y descarga. Durante este tiempo hay una pérdida brusca de calor por efecto de la radiación del horno destapado, al ambiente.

Puedo considerar con gran seguridad, que lo que se pierde en esta hora es igual a lo que se le suministra promedio a las paredes. Es decir que se va a necesitar 6 horas para alcanzar el estado estacionario.

El total de calor que se le debe suministrar a las paredes será:

$$Q_a = \frac{10148000 \times 6}{5} = 12200000$$

Considerando un porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación al ambiente, el calor promedio necesitado por hora será de 2100000 Btu

Calor Usado en Evaporar la Humedad del carbón .-

Cantidad de calor por carga : 564 lbs

Humedad del carbón : 3.5 %

El total de agua por evaporar será  $564 \times 0.035 = 19.7$  lbs

Calor latente de vaporización del agua : 975 Btu / lb

El calor usado en la evaporación será  $19.7 \times 975 = 19300$  Btu

$$Q_v = 19300 \text{ Btu}$$



Los calores calculados son los siguientes:

1).- Calor requerido por las paredes, promedio

$$Q_a = 2100000 \text{ Btu/hr} \checkmark$$

2).- Calor usado en calentar la carga

$$Q_c = 1550000 \text{ Btu} \checkmark$$

3).- Calor usado en evaporar el agua

$$Q_v = 19300 \text{ Btu / carga} \checkmark$$

4).- Calor usado en la reducción

$$Q_r = 1640000 \text{ Btu /carga}$$

5).- Calor en los gases de escape

$$Q_g = 4240 \text{ Btu / lb}$$

6).- Calor cedido por el petroleo

$$Q = 14090 - 4240 = 9750 \text{ Btu / lb}$$

7).- Calor irradiado por los gases dentro del horno

$$Q_i = 861000 \text{ Btu / hr} \checkmark$$

### Cálculo del Consumo de Petroleo

Los calores por considerar hasta que se estabilice la temperatura de la carga en 1600 °F son :

$$Q_a = 2100000$$

$$Q_c = 1550000$$

$$Q_v = 19300$$

---

$$Q \text{ Total} = 3669800 \text{ Btu}$$

$$\text{Total de petroleo} = \frac{3669800}{9750} = 376 \text{ lbs / hr}$$

$$= \frac{376}{7.44} = 50 \text{ gl / hr}$$

Los calores por considerar durante el período de reducción son:

$$Q_a = 2100000 \text{ Btu}$$

$$\frac{Q_r}{2} = 820000$$

---

$$Q \text{ Total} = 2920000 \text{ Btu / hr}$$

$$\text{Total de petroleo} = \frac{2920000}{9750} = 300 \text{ lbs / hr}$$

$$= \frac{300}{7.44} = 41 \text{ gl / hr}$$

Para mayor seguridad puesto que se trata de un horno que se está recién calculando puedo tomar durante todo el tiempo un promedio de consumo de 45 gl / hr

### Cálculo de los Productos totales de Combustión

Cantidad de petróleo :  $45 \times 7.44 = 335 \text{ lbs / hr}$

1 libra de petróleo necesita 14.81 libras de aire

Total de aire :  $335 \times 14.81 = 4950 \text{ lbs / hr}$

Una libra de petróleo al quemarse produce :

$$\text{CO}_2 = 3.15 \text{ lb}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 1.26 \text{ "}$$

$$\text{N}_2 = 11.40 \text{ "}$$

El total será ;

$$\text{CO}_2 = 3.15 \times 335 = 1055 \text{ lb} = 24 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1.26 \times 335 = 422 \text{ lb} = 23.5 \text{ mol}$$

$$\text{N}_2 = 11.4 \times 335 = 3820 \text{ lb} = 136.5 \text{ mol}$$

Total de moles =  $24 + 23.5 + 136.5 = 184 \text{ moles / hr}$

Volumen de los Gases de Escape :

$$V = 184 \times 359 \frac{1000 + 460}{32 + 460} = 196000 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

$$V = \frac{196000}{60}$$

$$V = 3270 \text{ pies}^3 / \text{min}$$

### Cálculo de la Cámara de Combustión

La cámara será de 7" de espesor .Voy a calcular el area da cámara necesaria para que los gases de combustión puedan enfriarse desde los 3720 °F que es su temperatura Máxima hasta los 3000 °F a que deben ingresar al horno rotatorio.

El calor que pierden los gases al enfriarse debe ser absorbido por las paredes.

La cantidad de calor que tienen los gases de combustión a 3720 °F . es 18114 Btu / lb de petróleo . A 3000 °F la cantidad de calor es de 14090 Btu / lb .

minuír su calor ean :  $18114 - 14090 = 4024$  Btu

El total de calor que se debe disminuír por hora será :

$$4024 \times 7.44 \times 45 = 1350000 \text{ Btu}$$

La cantidad de calor almacenada por pie cuadrado de pared será;

$$q = w.c.(T_{pp} - T_a)$$

Siendo  $w$  = peso correspondiente a un pie cuadrado de pared

$$= 1 \times \frac{7}{12} \times 188 = 110 \text{ lb}$$

$T_a$  = temperatura ambiente

$T_p$  = temperatura promedio entre la temperatura exterior y la temperatura promedio interior.

La temperatura promedio interior es  $3360$  °F

Para calcular la temperatura exterior uso la fórmula conocida

$$T_1 = T_2 - (T_2 - T_a) f$$

Para hallar  $f$  debo hallar primero el valor de  $\frac{X}{2(at)^{\frac{1}{2}}}$

$$\text{Siendo } a = \frac{K}{cp}$$

$$K = 1.02 \text{ Btu pie} / \text{hr pie}^2 \text{ °F}$$

$$c = 0.22 \text{ Btu} / \text{lb °F}$$

$$p = 188 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

$$a = \frac{1.02}{0.22 \times 188} = 0.0247$$

$$X = \frac{7}{12} = 0.585 \text{ pies}$$

$$t = 6 \text{ horas}$$

Remplazando en la fórmula se obtiene el valor de la abcisa

$$\frac{0.585}{2(0.0247 \times 6)^{\frac{1}{2}}} = 0.765$$

Con este valor obtengo del gráfico # 5 ( Schack )

$$f = 0.74$$

Reemplazando

$$T_1 = 3360 - ( 3360 - 60 ) 0.74$$

$$T_1 = 910 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Como se dijo anteriormente, esta fórmula da la temperatura que tuviera la pared si no existiera el estado estacionario.

La temperatura hallada puede ser superior o inferior a la estacionaria, por lo tanto voy a encontrar esta temperatura.

Para esto igual que anteriormente empleo el gráfico del libro Efficient Use of Fuel, para lo cual hallo el valor de la relación entre el espesor y la conductibilidad.

$$\text{Siendo } \frac{7}{122} = 0.575$$

Con este valor para una temperatura interior de 3360 °F encuentro una temperatura exterior de 750 °F .

Es necesario calcular el tiempo que demora la pared en llegar a 750 °F .

Para esto aplico la fórmula  $T_1 = T_2 - (T_2 - T_a)f$

$$750 = 3360 - (3360 - 60)f$$

$$f = 0.79$$

Con este valor hallo en el gráfico # 5 que la relación

$$\frac{L}{2(at)^{\frac{1}{2}}} = 0.88 = \frac{0.585}{2(0.0247)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t = 4.7 \quad ( 5 \text{ horas } )$$

La temperatura promedio del refractario es  $\frac{3360 + 750}{2} = 2060^\circ\text{F}$

La cantidad de calor almacenada en las paredes será :

$$q = 110 \times 0.23( 2060 - 60 )$$

$$q = 50500 \text{ Btu / pie}^2 \text{ de pared}$$

La cantidad de calor que absorben promedio por hora las paredes será :  $\frac{50500}{5}$  10100 Btu / pie<sup>2</sup> de pared

El total de calor que deben perder los gases se encontró que era de 1350000 Btu / hr

La superficie total de las paredes de la cámara debe ser :

$$\frac{1350000}{10100} = 134 \text{ pies}^2$$

Puedo considerar la cámara como un exaedro de 22.5 pies<sup>2</sup> por cara ( no es exactamente un exaedro porque el techo es un arco )

Cada lado de la cámara tendrá 4.74 pies por lado

El volumen de la cámara será aproximadamente

$$4.74 \times 4.74 \times 4.74 = 106 \text{ pies}^3$$

El volumen de una cámara de combustión debe estar comprendido entre 2 y 5 pies cúbicos por galón de petróleo y por hora

Por los 45 gal sería

$$45 \times 2 = 90 \text{ pies}^3 \quad 45 \times 5 = 225 \text{ pies}^3$$

Luego el volumen de la cámara está dentro de los límites recomendables

#### Ventilador Necesario para Evacuar los Gases

La cantidad de gases por evacuar es

$$V = 196,000 \frac{300 \pm 460}{950 \pm 460}$$

$$V = 106,000 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

$$V = 1260 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

Los gases para pasar por los tubos van a necesitar cierta presión. Esta presión la puedo estimar con gran seguridad en 1.5 pulgadas de agua.

Es necesario colocar un ventilador que suministre dicha presión. Para seleccionar el ventilador se debe tener en cuenta que la presión estática que proporcionan los catálogos está dada para gases a 60 °F y a mayor temperatura de los gases la presión estática que proporcionan estos ventiladores es menor. Luego, hay que seleccionar un ventilador que dé una mayor presión estática.

El valor de esta presión se halla multiplicando la presión a 60 °F por un factor f cuyo valor para este caso es

$$f = \frac{\text{Volumen de los gases a } 300 \text{ °F}}{\text{Volumen de los gases a } 60 \text{ °F}}$$

El volumen de los gases a 60 °F es

$$V = 196000 \frac{520}{1410} = 72000 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

$$f = \frac{106000}{72000} = 1.47$$

La presión estática que debe suministrar el ventilador será :

$$p = 1.5 \times 1.47$$

$$p = 2.2 \text{ pulgadas de agua}$$

En el catálogo de la American Blower Corporation selecciono un # 3 American H.S. cuyas características son las siguientes:

Area de descarga : 1.78 pie<sup>2</sup>

Diámetro : 1.57 pies

Volumen de descarga : 1246 pies<sup>3</sup> / minuto

Velocidad de descarga : 700 pies / minuto

Presión estática : 2.25 pulgadas de agua

Velocidad : 1390 rpm

Potencia de freno : 0.87 HP

Motor necesario : L HP

Succión simple

Motor para mover el horno

De acuerdo con una tabla del libro Portland Cement ( Meade ) voy a usar un motor de las siguientes características :

General Electric tipo KG

Potencia : 10 HP

Clase : Jaula de Ardilla

Alto torque de arranque

Velocidad : 1200 rpm unido a una reducción de 2 rpm

Arranque mediante llave magnética



Tanque de Solución de SBa

Peso de la solución = 15860 lbs H<sub>2</sub>O + 2790 lbs SBa  
 = 18650 lbs

Peso específico de la solución = 72.5 lbs / pie<sup>3</sup>

Volumen de la solución =  $\frac{18650}{72.5} = 257$  pies<sup>3</sup>

El tanque tendrá las siguientes dimensiones

Diámetro : 9 pies ( 2.7 m )

Area del fondo =  $0.7854 \times 9^2 = 63.6$  pies<sup>2</sup> ( 5.72 m<sup>2</sup> )

Altura del tanque =  $\frac{257}{63.6} = 4.05 = 4.5$  pies

Bomba para descargar el tanque de solución

La cantidad de solución por bombear es 257 pies cúbicos (1920 gl)

La altura a que se va a bombear es 9 pies y considerando 1 pie como pérdida de carga en fricción; la carga contra la cual se va a bombear es 10 pies.

Usando el catálogo de la Aurora Pump Co. veo que para una carga de 10 pies, usando una bomba centrífuga de 1.25" de succión de 1450 rpm y de  $\frac{1}{2}$  HP se obtiene una descarga de 35 gl / minuto

$$\text{Tiempo de bombeo} = \frac{1920}{35} = 55 \text{ minutos}$$

Tanque de Sedimentación del Residuo

Este tanque tendrá las mismas dimensiones que el tanque de solución del SBa pero tendrá orificios en la parte inferior para descargar la solución clara.

Cálculo del tiempo de descarga .- Aplicando la fórmula # 44 de las copias de Hidráulica del Ingeniero Góngora

$$t = \frac{2 A}{c a (2g)^{\frac{1}{2}}} \left( h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}} \right)$$

Siendo  $t$  : tiempo de descarga en segundos

$A$  : area del fondo del tanque en metros

$A$  : 5.72 m

$c$  : coeficiente de descarga

$c$  : 0.6

$a$  : area de los orificios de salida en metros<sup>2</sup>

$a$  :  $2 \times 0.7854 \times 0.05 \times 0.05$

$a$  : 0.00394 m<sup>2</sup>

$g$  : aceleración de la gravedad

$g$  : 9.8 m / seg<sup>2</sup>

$h_1$  : nivel inicial del líquido

$h_1$  : 1.20 m ( los orificios estarán a 0.25 pie del fondo)

$h_2$  : nivel final sobre los orificios

$h_2$  : 0 m

$$t = \frac{2 \times 5.72 ( 1.2 )^{\frac{1}{2}}}{0.6 \times 0.00394 (19.6)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t = 1190 \text{ seg} = 20 \text{ minutos}$$

### Tanque de Reacción

Este tanque debe contener :

Solución al 12 % de SBa que tiene 2790 lb de SBa y 20400 lb de H<sub>2</sub>O

Solución al 30 % de ZnSO<sub>4</sub> que tiene 2660 lb de ZnSO<sub>4</sub> y 6300 lb de H<sub>2</sub>O

En total habrá 5450 lb de litopón y 26700 lb de agua

Habrà una suspensión de 16.9 % de litopón.

El peso específico es 57 lb / pie<sup>3</sup>

El volumen de la suspensión será :  $\frac{5450 + 26700}{57} = 565 \text{ pies}^3$

Usando un tanque de 6 pies de diámetro y 7 pies de alto que tendrá una capacidad de ;  $0.7854 \times 6^2 \times 7 = 197 \text{ pies}^3$

Este tanque puede contener con exceso la tercera parte del volumen de la suspensión que es 188 pies cúbicos.

Puedo usar entonces, 2 tanques de esta capacidad que trabajen en forma alternada.

Cada tanque se llenará en 8 minutos, pues la descarga total de la solución de SBA se lleva a cabo en 20 minutos, y la del sulfato de zinc, como se verá mas adelante, se efectúa también en 20 minutos.

#### Bomba para Descargar los Tanques de Reacción

Esta bomba llevará la suspensión de litopón de los tanques de reacción a los tanques de sedimentación.

La cantidad de litopón es 5450 lb y la cantidad de agua 26700 lb es decir 16.9 % en peso de litopón.

Usando el catálogo de la Denver Equipment Co. se ve que empleando una bomba de diafragma # 2 Triplex que para sólidos de gravedad específica 3.5 y para 16.9 % de sólidos en suspensión da con máxima carrera una descarga de 3.75 Ton / hr .

La cantidad de sólidos es 5450 lb ( 2.725 Ton cortas )

Tiempo de bombeo con máxima carrera :

$$\frac{2.725}{3.75} = 0.73 \text{ hr} \quad 45 \text{ minutos}$$

El motor necesario es de 3 HP

#### Tanques de Sedimentación del Litopón

Para calcular estos tanques de sedimentación he realizado las siguientes experiencias :

En un vaso de 400 cm<sup>3</sup> graduado de 10 en 10 centímetros puse 20 gr de litopón finamente pulverizado y 100 gr de agua.

Agité y determiné que el nivel era 110 cm<sup>3</sup>

Dejé reposar la solución por varios minutos, asentándose el sólido

en el fondo del vaso y encontrando que el nivel del sólido permanecía constante en  $25 \text{ cm}^3$ .

La cantidad de agua que hay sobre este nivel es :

$$110 - 25 = 85 \text{ cm}^3$$

La cantidad de agua absorbida será :  $100 - 85 = 15 \text{ cm}^3$

El peso de la pulpa que se va a sacar será :  $20 \pm 15 = 35 \text{ gr}$

El peso específico será  $\frac{35}{25} = 1.4 \text{ gr} / \text{cm}^3 = 87.3 \text{ lb} / \text{pie}^3$

La humedad será  $\frac{15}{35} = 43 \%$

En base seca será  $\frac{15}{20} = 75 \%$

Repetí el experimento poniendo 30gr de litopón y 150 gr de agua.

El nivel de la(solución) suspensión era  $165 \text{ cm}^3$

El nivel de la pulpa espesa se estacionó en  $37 \text{ cm}^3$

La cantidad de agua sobre la pulpa :  $165 - 37 = 128 \text{ cm}^3$

El agua absorbida será :  $150 - 128 = 22 \text{ cm}^3$

El peso de la pulpa :  $30 \pm 22 = 52 \text{ gr}$

Humedad  $\frac{22}{52} = 42.5 \%$

Estos experimentos me permiten hacer lo siguiente :

El peso del litopón es por carga  $5450 \text{ lb}$

El peso del agua absorbida es :  $5450 \times 0.75 = 4090 \text{ lb}$

Peso de la pulpa espesa :  $5450 \pm 4090 = 9540 \text{ lb}$

Volumen de la pulpa espesa :  $\frac{9540}{87.3} = 109 \text{ pies}^3$

El peso específico de la suspensión de litopón es

$$\frac{120}{110} = 1.09 \text{ gr} / \text{cm}^3 = 68 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

El peso total de pulpa diluida es  $26700 \pm 5450 = 32150$  lb

$$\text{Volumen} = \frac{32150}{68} = 475 \text{ pies}^3$$

Considerando tanques de 5.5 pies de diámetro y 3.3 de alto

$$\text{Area del fondo} = 0.7854 \times 5.5 \times 5.5 = 23.8 \text{ pies}^2$$

$$\text{Volumen} = 23.8 \times 3.3 = 78.5 \text{ pies}^3$$

$$\text{Total de tanques} = \frac{475}{78.5} = 6.2 = 7 \text{ tanques}$$

$$\text{Contenido en cada tanque} = \frac{475}{7} = 68 \text{ pies}^3$$

$$\text{Nivel en cada tanque} = \frac{68}{23.8} = 2.86 \text{ pies}$$

$$\text{Volumen de pulpa espesa por tanque} = \frac{109}{7} = 15.6 \text{ pies}^3$$

$$\text{Altura de la pulpa espesa} = \frac{15.6}{23.8} = 0.65 \text{ pie}$$

#### Cálculo del Tiempo de Sedimentación

Aplicando la fórmula  $t = \frac{\text{espacio}}{\text{velocidad}}$

Lo máximo que deben recorrer las partículas es  $2.86 - 0.65 = 2.21$  pie

Para calcular la velocidad de sedimentación aplico la fórmula de Stokes ( Perry pag 1619 )

$$v = 545 ( p - 1 ) D^2$$

Siendo  $v$  = velocidad de sedimentación en milímetros / seg

$p$  = peso específico de las partículas en  $\text{gr} / \text{cm}^3$

$D$  = diámetro de las partículas en milímetros

Tomando como peso específico el del sulfuro de zinc ( que es el menor ) y que es  $4 \text{ gr} / \text{cm}^3$

Como diámetro de partícula tomo  $0.025 \text{ mm}$  que es el correspondiente a la malla # 325

$$v = 545 (4 - 1) 0.025^2$$

$$v = 1.02 \text{ mm / seg} = 61.2 \text{ mm / min} = 0.204 \text{ pies / minuto}$$

$$\text{Tiempo de sedimentación} : \frac{2.21}{0.204} = 10.9 \text{ minutos}$$

Como seguridad puedo tomar 20 minutos.

Cálculo del Tiempo para Descargar el agua de los Tanques de Sedimentación .- Aplicando la fórmula de Hidráulica con los siguientes datos :

$$A = 0.7854 \times 1.8^2 = 2.54 \text{ m}^2$$

$$c = 0.6$$

$$a = 0.00197 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 0.663 \text{ m}$$

$$h_2 = 0$$

$$t = \frac{2 \times 2.54 (0.663)^{\frac{1}{2}}}{0.6 \times 0.00197 (19.6)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t = 800 \text{ seg} = 14 \text{ minutos}$$

#### Bomba para Descargar el Litopón espeso

El litopón tiene 43 % de humedad.

En el catálogo de la Denver Equipmet Co. se ve que usando una bomba de diafragma 3 " Simplex que para sólidos de 3.5 gravedad específica y 40 % de humedad en la pulpa, se obtiene una capacidad de 3 toneladas por hora con carrera completa.

Motor necesario 1 HP

#### Filtro Prensa

El filtro prensa necesario para el primer filtrado va a recibir 5450 lb de litopón y 4115 lb de agua. es decir un contenido de 43%

de humedad. El total de cakes es 165 con un peso de 41.3 lb cada uno, es decir  $41.3 \times 165 = 6820$  lb en total.

El filtro por usar va a ser del tipo Recessed Plate de 30" y de 28 cámaras, fabricado por la T. Shriver and Co.

Número de operaciones  $\frac{165}{28} = 5.92 = 6$

El área efectiva por cámara es 10.6 pies<sup>2</sup>

Área total =  $28 \times 10.6 = 296$  pies<sup>2</sup>

La razón de filtrado la puedo tomar como 200 lb / pie<sup>2</sup> 24 hrs

El filtrado total por hora será  $\frac{296 \times 200}{24} = 2460$  lb / hr

El peso por operación será :  $28 \times 41.3 = 1150$  lb

Tiempo de filtrado  $\frac{1150}{2460} = 0.48$  hr = 30 minutos

Tomando como tiempo de descarga 2 hr ( Riegel, Chemical Machinery)

El tiempo necesario para cada operación será:  $6 \times 2.5 = 15$  hr

Luego es necesario poner 2 filtros prensas que trabajen 7.5 hr cada uno .

## CALCULO DE SECADO

El cake sale del filtro prensa con una humedad de 25 % en base seca. El producto terminado tiene una humedad de 1 % en base seca.

Luego el agua por evaporar será:  $25 - 1 = 24$  % en base seca.

Peso del producto seco  $\frac{5500}{1.01} = 5450$  lb

Agua por evaporar :  $5450 \times 0.24 = 1320$  lb

El aire atmosférico de que se dispone tiene mas o menos 60 °F 90 % de humedad relativa y una humedad absoluta de 0.01 lb de agua por lb de aire seco.

Este aire se va a calentar hasta 250 °F en un recuperador de calor y se pasa luego por el secador.

Se puede asumir que sale del secador con una humedad absoluta de 0.042 lb agua / lb aire seco, con una humedad relativa de 60 % y temperatura de 115 °F .

El agua evaporada será :  $0.042 - 0.01 = 0.032$  lb agua / lb aire seco

Cantidad de aire seco total  $\frac{1320}{0.032} = 41300$  lb

Calor húmedo : 0.242 Btu / lb aire seco °F .

Calor necesario para calentar el aire :

$$Q = 41300 \times 0.242 ( 250 - 60 )$$

$$Q = 1900000 \text{ Btu}$$

Volumen de aire a la entrada al secador .- El volumen específico lo obtengo de la siguiente fórmula :

$$v = (0.73 t \pm 335.7) \left( 0.0345 \pm \frac{H}{18} \right)$$

$$v = (0.73 \times 250 \pm 335.7) \left( 0.0345 \pm \frac{0.01}{18} \right)$$

$$v = 18.1 \text{ pies}^3 / \text{lb aire seco}$$

$$\text{Volumen total } V = 18.1 \times 41300 = 745000 \text{ pies}^3$$



### Cálculo del Tiempo de Secado.

El tiempo de secado en el período de razón constante está dado por la relación :

$$t_k = \frac{\text{Lb agua por sacar de cada cake hasta humedad crítica}}{\text{Razón de secado} \times \text{Superficie de cada cake}}$$

La humedad crítica se considera 18 % en base seca (Perry)

El cake que viene del filtro prensa es cuadrado y tiene las siguientes dimensiones :

Superficie por cara : 5.3 pies<sup>2</sup> ( 2.3 pies por lado )

Espesor : 1.25"

Volumen :  $\frac{1.25}{12} \times 5.3 = 0.552$  pies<sup>3</sup>

Peso específico del cake : 75 lb / pie<sup>3</sup>

Peso total del cake : 0.552 x 75 = 41.3 lb

Peso del cake seco :  $\frac{41.3}{1.25} = 33$  lb

Durante el período de razón constante hay que evaporar

$$25 - 18 = 7 \text{ \% en base seca}$$

En total 33 x 0.07 = 2.31 lb agua / cake

### Determinación de la Razón de Secado

Para determinar la razón de secado voy a emplear el gráfico # 1 de la página 1483 de Perry .

Este gráfico está hecho para una velocidad de aire de 300 pies/seg con 30 % HR y 150 °F de temperatura y un coeficiente  $h_c = 3.1$  Btu / hr pie<sup>2</sup> °F .

Con estos no puedo hallar la razón de secado para mi problema.

De acuerdo a las condiciones de mi secado el aire entra al secador con 5 % de HR y 250 °F . Con estos valores se encuentra una razón de secado de 0.37 lb agua / hr pie<sup>2</sup>

Este valor debe ser corregido, para lo cual se le multiplica por un factor que corresponde a conducción y radiación, debido a que

el gráfico está hecho para 150 °F de temperatura de aire.

Este factor está dado por la relación  $\frac{h_t}{h_c}$

Siendo  $h_t$  el coeficiente total de conducción y convección dado por la relación :

$$h_t = (h_c + h_r) \left( 1 + \frac{A}{1 + \frac{L(h_c + h_r)}{K}} \right)$$

Siendo A : cierta relación cuyo valor Perry lo toma : 1

L : espesor del material : 1.25" : 0.104 pies

$h_c$  : constante del gráfico : 3.1 Btu / hr pie<sup>2</sup> °F

$h_r$  : coeficiente de radiación : 2.1 Btu / hr pie<sup>2</sup> °F

K : cierto coeficiente; Perry toma el valor de 1 para un problema similar

Aplicando la ecuación :

$$h_t = (3.1 + 2.1) \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.104(3.1 + 2.1)} \right)$$
$$h_t = 8.6$$

La relación  $\frac{h_t}{h_c}$  valdrá  $\frac{8.6}{3.1} = 2.76$

El coeficiente de corrección es pues : 2.76

SE debe hacer también una corrección de temperatura debido a que el gráfico está hecho para cuando el material alcanza la temperatura del bulbo húmedo del aire. Generalmente no la alcanza sino que está a temperatura mas alta.

Este factor de corrección puedo tomarlo como 0.9

Luego la razón de secado será :

$$R = 0.37 \times 2.76 \times 0.9$$

$$R = 0.92 \text{ lb agua / hr pie}^2$$

De cada cake debe sacarse 2.31 lb de agua

Las bandejas pueden hacerse de malla metálica; de tal manera que

despreciando la superficie ocupada por la malla el area de secado de cada cake será :  $5.3 \times 2 = 10.6$  pies cuadrados.

El tiempo de secado durante el período de razón constante es :

$$t_k = \frac{2.31}{0.92 \times 10.6}$$

$$t_k = 0.237 \text{ horas}$$

El tiempo de secado durante el período de caída de razón está dado por la ecuación :

$$t_c = \frac{D \times F}{A \times R} \times 2.3 \log \frac{F}{F_2}$$

Siendo : D : peso del cake seco = 33 lb

A : 10.6 pies<sup>2</sup>

F : humedad crítica = 0.18 lb agua / lb sólido seco

F<sub>2</sub> : humedad final = 0.01 lb agua / lb sólido seco

R : 0.92 lb / hr pie<sup>2</sup>

Resolviendo la ecuación :

$$t_c = \frac{33 \times 0.18}{10.6 \times 0.92} \times 2.3 \log \frac{0.18}{0.01}$$

$$t_c = 1.76 \text{ horas}$$

El tiempo total de secado será :

$$t = 1.76 + 0.237$$

$$t = 2 \text{ horas}$$

La cantidad de aire que entra al secador por hora será 372500pies<sup>3</sup>

#### Dimenciones del Secador

Cada cake con 1 % de humedad pesa  $33 \times 1.01 = 33.4$  lb

Total de cakes :  $\frac{5500}{33.4} = 165$

Poniendo 22 bandejas en cada carrito el total de carritos será:

$$\frac{165}{22} = 7.5$$

Número de carritos : 8

Cada carrito se puede considerar que tiene 3 pies de largo.

El largo del tunel será :  $8 \times 3 = 24$  pies

El ancho será : 4 pies

El alto será : 6 pies

Las bandejas son cuadradas de 2.5 pies de lado y 1.25" de alto

El espacio que ocupan las bandejas es en sección del secador:

$$\frac{1.25}{12} \times 2.5 \times 22 = 5.7 \text{ pies}^2$$

Considerando 7 pies<sup>2</sup> como area total ocupada por el carrito y las bandejas en sección transversal del tunel.

Area libre en el tunel :  $6 \times 4 - 7 = 17$  pies<sup>2</sup>

El total de aire que se consume en dos horas es 745000 pies<sup>3</sup>

La velocidad del aire en el secador será :

$$\frac{745000}{120 \times 17} = 3660 \text{ pies / minuto}$$

La velocidad es algo mayor que la de 300 pies / minuto considerada en el gráfico de razón de secado, por lo cual no vale la pena corregir el valor de la razón de secado; pues habría que multiplicarlo por el factor de corrección de velocidad cuyo valor es ligeramente superior a 1

De todas maneras la mayor velocidad del aire resulta mas favorable para el secado, pues hace aumentar la razón de secado disminuyendo el tiempo .

### Cálculo del recuperador de calor

El aire va a ser calentado mediante los gases del horno rotatorio que pasan a través de unos <sup>tubos</sup>, soplándose el aire exteriormente y en contracorriente.

Cantidad de aire a 250 °F : 372500 pies<sup>3</sup> / hr

Cantidad de aire a 60 °F : 275000 pies<sup>3</sup> / hr

Temperatura del aire : 60 °F a la entrada

Temperatura de salida del aire : 250 °F

Temperatura de entrada de los gases al recuperador : 950 °F

Cálculo de la temperatura de salida de los gases del recuperador

Los gases de escape del horno salen con 4230 Btu / lb de petróleo

El total de petróleo quemado es 335 lb / hr

La cantidad de calor que se le debe suministrar al aire es :

1045000 Btu / hr ( 950000 Btu / hr + 10 % por pérdidas )

La cantidad de calor que deben ceder los productos de combustión

de cada lb de petróleo es :  $\frac{1045000}{335} = 3100 \text{ Btu}$

Los productos de combustión de cada lb de petróleo saldrán con

$$4230 - 3100 = 1130 \text{ Btu}$$

Para averiguar su temperatura empleo el mismo procedimiento que he empleado anteriormente.

Asumiendo 500 °F

$$Q_{\text{CO}_2} = 0.072 \times 10 \times 440 = 316 \text{ Btu}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 0.07 \times 8.2 \times 440 = 252 \text{ "}$$

$$Q_{\text{N}_2} = 0.407 \times 7 \times 440 = 1270 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 1838 \text{ Btu}$$

Asumiendo 250 °F

$$Q_{\text{CO}_2} = 0.072 \times 9.4 \times 190 = 139 \text{ Btu}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 0.07 \times 8.1 \times 190 = 108 \text{ "}$$

$$Q_{\text{N}_2} = 0.407 \times 7 \times 190 = 540$$

$$Q_{\text{Total}} = 787 \text{ Btu}$$

Construyendo el gráfico Calor-Temperatura determino que la temperatura de salida de los gases del recuperador es 330 °F .

## Cálculo del Area de Calentamiento

Para calcular el area de tubos necesaria para el calentamiento voy a usar la fórmula

$$\frac{U A}{E} = X$$

Siendo **A** : area de calentamiento

**U** : coeficiente total de trasmisión de calor. Según Kent's ( Mechanical Eng. Handbook ) este valor fluctúa entre 2.5 y 4 .Para mayor seguridad tomo el valor mas

bajo  
**U** : 2.5 Btu / hr pie<sup>2</sup> °F

**E** : equivalente de agua del gas

Llábase equivalente de agua de una sustancia a la cantidad de agua en libras que tiene la misma capacidad calorífica que la sustancia en consideración.

El total de gases es 196000 pies<sup>3</sup> / hr

El análisis de los gases por volumen es

CO<sub>2</sub> : 13.1 %

H<sub>2</sub>O : 12.8

N<sub>2</sub> : 74.1

La temperatura promedio del gas puedo tomarla 650 °F

La capacidad calorífica promedio de los gases es

CO<sub>2</sub> : 0.0283 Btu / pie<sup>3</sup> °F

H<sub>2</sub>O : 0.0235

N<sub>2</sub> : 0.0199

La capacidad calorífica media del gas será

$$c = 0.131 \times 0.0283 + 0.128 \times 0.0235 + 0.741 \times 0.0199$$

$$c = 0.0212 \text{ Btu / pie}^3 \text{ °F}$$

El equivalente de agua del gas será

$$E = 0.0212 \times 196000$$

$$E = 4150 \text{ Btu / hr °F}$$

Para obtener el valor de X empleo el gráfico # 35 (Schack Pg214) donde para un valor de cierta función f y para cada valor de la relación  $\frac{E}{E'}$ , hay un valor de X

Siendo E' equivalente de agua del(gas) aire

La temperatura promedio del aire es 170 °F

El calor específico del aire es 0.0196 Btu ./ pie<sup>3</sup> °F

El equivalente de agua del aire será :

$$E' = 0.0196 \times 275000$$

$$E' = 5380 \text{ Btu } \cancel{\text{hr}} \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{La relación } \frac{E}{E'} = \frac{4150}{5380} = 0.78$$

Para hallar la función f aplico la fórmula 340a del libro de Schack .

$$t_2' = t_1 - ( t_1 - t_1' ) f$$

Siendo

$t_2'$  = temperatura de salida del aire

$t_1$  = temperatura de entrada de los gases

$t_1'$  = temperatura de entrada del aire

$$270 = 950 - ( 950 - 60 ) f$$

$$f = 0.77$$

Con los valores  $f = 0.77$  y  $\frac{E}{E'} = 0.78$  encuentro que el valor de X es 0.4

Reemplazando

$$\frac{2.5 A}{4150} = 0.4$$

$$A = 660 \text{ pies}^2$$

Usando tubos de 2" que tienen 1,608 pies de longitud por cada pie cuadrado de superficie externa, se necesitará

$$\frac{660}{1.608} = 410 \text{ pies de tubos .}$$



## Cálculo del Calor Necesario para Calentar el Aire del Segundo

### Secado .-

El secador va a trabajar con los gases de escape del horno rotatorio sin que tenga carga éste.

El calor por suministrar al horno debe ser la suma del calor que pierde a través de sus paredes más el calor necesario para calentar el aire .

Cálculo del Calor perdido a través de las paredes .- Este calor se calcula por la fórmula :

$$q = \frac{t_2 - t_1}{\frac{L}{K(6.28)r_m}}$$

Siendo  $t_2$  = temperatura interior promedio

La temperatura interior promedio cuando estaba con carga el horno era 2000 °F por lo tanto se le debe dejar enfriar antes de comenzar a trabajar con el secador.

Voy a considerar una temperatura interior promedio de 1300 °F

$t_1$  = temperatura exterior

Para determinar la temperatura exterior empleo como anteriormente el gráfico del libro Efficient Use of Fuel.

Hallando la relación  $\frac{L}{K}$  :

Siendo  $L$  : 6" y  $K$  : 11.5 Btu pulg / hr pie<sup>2</sup> °F

$$\frac{6}{11.5} = 0.53$$

Para una temperatura interior de 1300 °F la exterior es 450 °F

$r_m$  = radio medio = 3.5 pies

$K$  = coeficiente de conductibilidad promedio

$K$  = 10.9 Btu pulg / hr pie<sup>2</sup> °F

Reemplazando en la fórmula :

$$q = \frac{1300 - 450}{\frac{6}{(10.9)(6.28)(3.5)}}$$

$$q = 33800 \text{ Btu / hr pie de horno}$$

$$Q = 33800 \times 19.3$$

$$Q = 655000 \text{ Btu / hr}$$

Voy a considerar un gasto de petroleo de 15 gl / hr

El total de petroleo será :  $15 \times 7.44 = 112 \text{ lb / hr}$

Total de calor :  $112 \times 18114 = 2020000 \text{ Btu / hr}$

Calor disponible :  $2020000 - 655000 = 1365000 \text{ Btu / hr}$

Calor necesario para el aire :  $1045000 \text{ Btu}$

Calor al salir del recuperador :  $1365000 - 1045000 = 320000 \text{ Btu/hr}$

Los gases de combustión salen del horno con un total de calor de  $1365000 \text{ Btu}$ . La cantidad de calor por libra de petroleo quemado será :  $\frac{1365000}{112} = 12200 \text{ Btu}$

La cantidad de calor por libra de petroleo despues del calentamiento será :  $\frac{320000}{112} = 2860 \text{ Btu}$

Los gases deben entrar al recuperador a  $1000 \text{ }^\circ\text{F}$  .

Voy a determinar el exceso de aire necesario para bajar la temperatura de los gases dentro del horno, de tal manera que salgan de él a una temperatura de  $1000 \text{ }^\circ\text{F}$  .

Los productos de combustión de una libra de petroleo son los siguientes :  $\text{CO}_2$  :  $3.15 \text{ lb}$ ;  $\text{H}_2\text{O}$  :  $1.26 \text{ lb}$  ;  $\text{N}_2$  :  $11.4 \text{ lb}$

Admitiendo un  $100 \%$  de exceso de aire los productos de combustión serán :

CO<sub>2</sub> : 3.15 lb ( 0.072 mol )

H<sub>2</sub>O : 1.26 lb ( 0.07 mol )

N<sub>2</sub> : 22.8 lb ( 0.82 mol )

O<sub>2</sub> : 3.41 lb ( 0.107 mol )

Para determinar la temperatura de estos gases voy a emplear el método que he usado anteriormente .

Asumiendo 1500 °F

Q CO<sub>2</sub> : 0.072 x 11.6 x 1440 = 1200 Btu

Q H<sub>2</sub>O : 0.070 x 8.9 x 1440 = 895 Btu

Q N<sub>2</sub> : 0.820 x 7.4 x 1440 = 8730 Btu

Q O<sub>2</sub> : 0.107 x 7.8 x 1440 = 1230 Btu

Q Total = 12055 Btu

Asumiendo 1250 °F

Q CO<sub>2</sub> : 0.072 x 11.3 x 1190 = 970 Btu

Q H<sub>2</sub>O : 0.070 x 8.75 x 1190 = 728 "

Q N<sub>2</sub> : 0.820 x 7.30 x 1190 = 7120 "

Q O<sub>2</sub> : 0.107 x 7.80 x 1190 = 995

Q Total = 9813 Btu

Interpolando obtengo que la temperatura de los gases es 1510 °F

Admitiendo 150 % de exceso de aire, los productos de combustión será

CO<sub>2</sub> = 0.072 mol ; H<sub>2</sub>O = 0.07 mol ; N<sub>2</sub> = 1.02 mol ; O<sub>2</sub> = 0.16 mol

Igualmente asumiendo 1000 °F

Q CO<sub>2</sub> = 0.072 x 10.9 x 940 = 740 Btu

Q H<sub>2</sub>O = 0.070 x 8.5 x 940 = 560 "

Q N<sub>2</sub> = 1.02 x 7.2 x 940 = 6900 "

Q O<sub>2</sub> = 0.16 x 7.5 x 940 = 1130

Q Total = 9330 Btu

Asumiendo 1250 °F

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 11.3 \times 1190 = 970 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.070 \times 8.8 \times 1190 = 728 \text{ " } \\ Q_{N_2} &= 1.020 \times 7.3 \times 1190 = 8880 \text{ " } \\ O_2 &= 0.160 \times 7.8 \times 1190 = 1490 \text{ " } \\ \\ Q_{\text{ Total}} &= 12068 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Interpolando obtengo que la temperatura de los gases es 1265 °F

Admitiendo 220 % de exceso de aire, los productos de combustión será

$$CO_2 = 0.072 \text{ mol} ; H_2O = 0.07 \text{ mol} ; N_2 = 1.3 ; O_2 = 0.234 \text{ mol}$$

Igualmente asumiendo 750 °F

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 10.5 \times 690 = 522 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.070 \times 8.35 \times 690 = 403 \text{ " } \\ Q_{N_2} &= 1.300 \times 7.1 \times 690 = 6350 \text{ " } \\ Q_{O_2} &= 0.234 \times 7.4 \times 690 = 1195 \text{ " } \\ \\ Q_{\text{ Total}} &= 8470 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Asumiendo 1250 °F

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 11.3 \times 1190 = 970 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.070 \times 8.75 \times 1190 = 728 \text{ " } \\ Q_{N_2} &= 1.300 \times 7.30 \times 1190 = 11300 \text{ " } \\ Q_{O_2} &= 0.234 \times 7.70 \times 1190 = 2140 \text{ " } \\ \\ Q_{\text{ Total}} &= 15138 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Interpolando saco que la temperatura es 1030 °F con un contenido de 12200 Btu en los gases de combustión de una lb de petróleo.

Igualmente la temperatura con un contenido de 18114 Btu es 1475 °F que es la temperatura máxima dentro del horno .

El promedio de las dos es 1250 °F .

Estas temperaturas son bastante próximas a las que yo he considerado; por lo tanto tomo 220 % como el exceso de aire necesario para alcanzar las temperaturas requeridas.

La temperatura de los gases con un contenido de 2860 Btu ( temperatura de salida del regenerador ) es 330 °F .

#### Determinación del area de calentamiento

Voy a determinar si el regenerador calculado primero tiene el area suficiente para el calentamiento.

Usando la fórmula  $\frac{U A}{E} = X$

Voy a determinar el equivalente de agua del gas, para lo cual determino primero su capacidad calorífica media.

La temperatura media en el recuperador, como en el caso anterior, es también 650 °F .

El análisis de los gases por volumen es :

CO<sub>2</sub> = 4.3 % ; H<sub>2</sub>O = 4.2 % ; N<sub>2</sub> = 77.8 % ; O<sub>2</sub> = 13.7 %

Las capacidades caloríficas son :

CO<sub>2</sub> = 0.0283 Btu/pie<sup>3</sup> °F

H<sub>2</sub>O = 0.0235 " "

N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> = 0.0199 " "

Su capacidad calorífica media será :

$c = 0.043 \times 0.0283 + 0.042 \times 0.0235 + 0.915 \times 0.0199$

$c = 0.02041$  Btu / pie<sup>3</sup> °F

El número de moles de gases por lb de petróleo es :

$0.72 + 0.07 + 1.3 + 0.234 = 1.676$

El total de moles será :  $112 \times 1.676 = 187$

$$\text{Volumen de gases} = 187 \times 359 \frac{1000 \pm 460}{32 \pm 460}$$

$$= 199000 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

El equivalente de agua de los gases será :

$$E = 0.0204 \times 199000$$

$$E = 4070 \text{ Btu} / \text{hr } ^\circ\text{F}$$

El calor específico del aire es :  $0.0196 \text{ Btu} / \text{pie}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$

Su equivalente de agua será :

$$E' \pm 0.0196 \times 275000$$

$$E' = 5380 \text{ Btu} / \text{hr } ^\circ\text{F}$$

La relación  $\frac{E}{E'}$  =  $\frac{4070}{5380}$  = 0.76

El factor f será :

$$t_2' = t_1 - (t_1 - t_1') f$$

$$270 = 950 - (950 - 60) f$$

$$f = 0.77$$

El valor de f es igual al caso anterior y el valor de  $\frac{E}{E'}$  es bastante aproximado al anterior; luego  $X = 0.4$

Igualmente  $U = 2.5$

Reemplazando  $\frac{2.5 A}{4070} = 0.4$

$$A = 652 \text{ pies}^2$$

El caso anterior dio  $A = 660 \text{ pies}^2$

Luego es posible usar el mismo recuperador.

### Ventilador Necesario para el Secador

La cantidad de aire a 60 °F, que se necesita es

$$275000 \text{ pies}^3 / \text{hr} = 4590 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

A este aire se le debe suministrar la presión necesaria para que pueda pasar por el recuperador y por el secador mismo.

Considerando una pulgada de agua la presión necesaria para vencer la resistencia del recuperador y 1.5 pulgadas de agua, la necesaria para vencer la resistencia del secador.

La presión estática que debe suministrar el ventilador será 2.5 pulgadas de agua .

Del catálogo de la American Blower Corporation selecciono un # 3 Siroco Fan cuyas características son :

Area de descarga : 1.78 pies<sup>2</sup>

Diámetro : 1.5 pies

Volumen de descarga : 4700 pies<sup>3</sup> / minuto

Velocidad de descarga : 2550 pies / minuto

Velocidad : 932 rpm

Presión estática : 2.5 pulgadas de agua

Potencia de freno : 3.14 HP

Motor necesario : 4 HP .

## CALCULO DEL HORNO DE MUFLA

El litopón al entrar al horno de mufla tiene un peso específico aparente de 90 lb / pie<sup>3</sup>.

La carga que se va a introducir cada vez será de 5500 lb (2500 Kg)

$$\text{Volumen de la carga : } \frac{5500}{90} = 61 \text{ pies}^3$$

Considerando que el material ocupa el 60 % del volumen de la mufla, este volumen será :  $\frac{61}{0.6} = 102 \text{ pies}^3$

El arco de la mufla es del tipo llamado de 60 ° ;esto es, que la luz entre las paredes es igual a su radio.

$$\text{Area del sector : } \frac{0.7854 \times 6^2}{6} = 4.7 \text{ pies}^2$$

$$\text{Area del triángulo : } 2.6 \times 1.5 = 3.9 \text{ pies}^2$$

Sección de la mufla : 3 x2 ± area del segmento

$$\text{Area del segmento : } 4.7 - 3.9 = 0.8 \text{ pies}^2$$

$$\text{Sección de la mufla : } 6 \pm 0.8 = 6.8 \text{ pies}^2$$

$$\text{Longitud de la mufla : } \frac{102}{6.8} = 15 \text{ pies}$$

Longitud del horno : 16 pies

Material de que esta hecho la mufla : Carborundum de 1" de espesor

Las paredes exteriores del horno serán de ladrillo refractario de sílice de 4.5" de espesor.

Las dimensiones interiores serán : 2.5 pies de alto y 5 pies de luz entre las paredes laterales. El arco será del tipo 60° .



Balance de Calor

Cálculo de la cantidad de calor necesitada por cada carga .-

Temperatura a que hay que calentar la carga : 1300 °F

Calor específico del litopón .-El calor específico se calcula de acuerdo a la definición de que es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura una unidad de peso.

Según eso :

SO <sub>4</sub> Ba	±	SZn	-----	LITOPON
233.42	±	97.44	-----	330.86

El calor específico del SO<sub>4</sub>Ba se calcula por la fórmula :

$$c = 21.35 \pm 0.0141 T$$

$$T = 710 \pm 273 = 983 \text{ °K}$$

$$c = 21.35 \pm 0.0141 \times 983$$

$$c = 35.35 \text{ cal / grmol °C}$$

$$= \frac{35.35}{233.42} = 0.151 \text{ cal / gr °C}$$

$$c = 0.151 \text{ Btu / lb °F}$$

El calor específico del sulfuro de zinc es :

$$c = 12.81 \pm 0.00095 T - \frac{194600}{T^2}$$

$$T = 983 \text{ °K}$$

$$c = 12.81 \pm 0.00095 \times 983 - \frac{194600}{983^2}$$

$$c = 12.562 \text{ cal / grmol °C}$$

$$c = 0.129 \text{ Btu / lb °F}$$

La cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura 233.42 lb de SO<sub>4</sub>Ba será

$$Q_1 = 233.42 \times 0.151 = 35.2 \text{ Btu / °F}$$

La cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura 97.44 lb de ZnS será :

$$Q_2 = 97.44 \times 0.129 = 12.56 \text{ Btu} / ^\circ\text{F}$$

La cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura 330.86 lb de litopón será :

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 35.2 + 12.56$$

$$Q = 47.76 \text{ Btu} / ^\circ\text{F}$$

Luego el calor específico del litopón será :

$$c = \frac{47.76}{330.86}$$

$$c = 0.144 \text{ Btu} / \text{lb } ^\circ\text{F}$$

La cantidad de calor necesaria para carga de litopón (5500 lb) será

$$Q_c = 5500 \times 0.144 (1300 - 60)$$

$$Q_c = 984000 \text{ Btu}$$

### Cálculo de la temperatura de los gases de combustión

La máxima temperatura de los gases dentro del horno debe ser 2500 °

El poder calorífico neto del petróleo es 18114 Btu / lb.

La cantidad de aire exacta para la combustión de una lb de petróleo es  $N_2 = 11.4 \text{ lb}$  ;  $O_2 = 3.41 \text{ lb}$

Los productos de combustión de una lb de petróleo son :

$$CO_2 = 3.15 \text{ lb} ; H_2O = 1.26 \text{ lb} ; N_2 = 11.4 \text{ lb}$$

Hay que determinar el porcentaje de exceso de aire que hay que suministrar para que la temperatura sea 2500 °F .

Admitiendo 50 % de exceso de aire los productos de combustión de una lb de petróleo serán :

$$CO_2 = 3.15 \text{ lb} \quad ( 0.072 \text{ mol} )$$

$$H_2O = 1.26 \text{ lb} \quad ( 0.070 \text{ mol} )$$

$$N_2 = 17.1 \text{ lb} \quad ( 0.612 \text{ mol} )$$

$$O_2 = 1.7 \text{ lb} \quad ( 0.053 \text{ mol} )$$

Usando el método conocido para determinar la temperatura, voy a asumir 3000 °F .

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 12.7 \times 2940 = 2540 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.070 \times 10.1 \times 2940 = 2080 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 0.612 \times 7.9 \times 2940 = 14200 \text{ "}$$

$$Q_{O_2} = 0.053 \times 8.3 \times 2940 = 1290 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 20110 \text{ Btu}$$

Asumiendo 2500 °F

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 12.4 \times 2440 = 2170 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.070 \times 9.7 \times 2440 = 1650 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 0.612 \times 7.75 \times 2440 = 11600 \text{ "}$$

$$Q_{O_2} = 0.053 \times 8.2 \times 2440 = 1060 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 16480 \text{ Btu}$$

Interpolando con 18114 Btu encuentro que la temperatura de los gases es 2730 °F .

Admitiendo un 80 % de exceso de aire, los productos de combustión serán :

$$CO_2 = 3.15 \text{ lb} ; H_2O = 1.26 \text{ lb} ( 0.07 \text{ mol} ) ; N_2 = 20.55 \text{ lb} ( 0.735 \text{ mol} )$$

$$O_2 = 2.72 \text{ lb} ( 0.085 \text{ mol} )$$

Igualmente, asumiendo 2000 °F

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 12.1 \times 1940 = 1690 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.070 \times 9.5 \times 1940 = 1270 \text{ Btu}$$

$$Q_{N_2} = 0.735 \times 7.7 \times 1940 = 10850 \text{ "}$$

$$Q_{O_2} = 0.085 \times 8.0 \times 1940 = 1320 \text{ "}$$

$$Q_{\text{Total}} = 15130 \text{ Btu}$$

Asumiendo 2250 °F

$$\begin{aligned} Q_{CO_2} &= 0.072 \times 12.3 \times 2190 = 1940 \text{ Btu} \\ Q_{H_2O} &= 0.070 \times 9.5 \times 2190 = 1270 \\ Q_{N_2} &= 0.735 \times 7.7 \times 2190 = 12400 \\ Q_{O_2} &= 0.085 \times 8.2 \times 2190 = 1535 \text{ "} \end{aligned}$$

$$Q \text{ Total} = 17325 \text{ Btu}$$

Interpolando con 18114 Btu obtengo que la temperatura de los gases con 80 % de exceso de aire es 2335 °F .

Haciendo un gráfico que relacione porcentaje de exceso de aire con temperatura, puedo obtener el exceso de aire necesario para que la ~~temperatura~~ máxima de los gases de combustión sea 2500 °F .

Los puntos por dibujar son

Con 80 % de exceso de aire	la temperatura es	2335 °F
Con 50 % " " " " " "	" " " "	2740 °F
Con 0 % " " " " " "	" " " "	3720 °F

Se debe suministrar 67 % de exceso de aire.

Los productos de combustión de una lb de petróleo serán :

$\text{CO}_2 = 0.072 \text{ mol}$  ;  $\text{H}_2\text{O} = 0.07 \text{ mol}$  ;  $\text{N}_2 = 0.68 \text{ mol}$  ;  $\text{O}_2 = 0.071 \text{ mol}$

Para verificar voy a calcular la cantidad de calor que tienen los gases a 2500 °F

$$Q \text{ CO}_2 = 0.072 \times 12.4 \times 2440 = 2170 \text{ Btu}$$

$$Q \text{ H}_2\text{O} = 0.070 \times 9.75 \times 2440 = 1660 \text{ "}$$

$$Q \text{ N}_2 = 0.68 \times 7.75 \times 2440 = 12850$$

$$Q \text{ O}_2 = 0.071 \times 8.20 \times 2440 = 1420$$

$$Q \text{ Total} = 18100 \text{ Btu}$$

#### Temperatura de Salida de los Gases

El litopón se va a calentar hasta 1300 °F; los gases de combustión deben salir, lógicamente, al final del calentamiento a temperatura superior a aquella.

Puedo asumir que durante todo el tiempo los gases van a salir a 1300 °F, debido a que al comienzo del calentamiento van a salir a menor temperatura.

Luego la temperatura promedio de los gases dentro del horno será

$$\frac{1}{2} ( 2500 + 1300 ) = 1900 \text{ °F} .$$

La cantidad de calor que tienen los gases a 1300 °F será

$$Q \text{ CO}_2 = 0.072 \times 11.4 \times 1240 = 990 \text{ Btu}$$

$$Q \text{ H}_2\text{O} = 0.070 \times 8.8 \times 1240 = 762 \text{ "}$$

$$Q \text{ N}_2 = 0.680 \times 7.3 \times 1240 = 6200 \text{ "}$$

$$Q \text{ O}_2 = 0.071 \times 7.7 \times 1240 = 675 \text{ "}$$

$$Q \text{ Total} = 8627 \text{ Btu}$$

La cantidad de calor cedida por los gases en su recorrido por el horno será :  $18100 - 8627 = 9473 \text{ Btu} / \text{lb de petróleo} .$

Cálculo de la Cantidad de Calor Absorbida por las Paredes

Voy a considerar primero la cantidad de calor absorbida por un pie de longitud de paredes laterales.

Esta cantidad será :

$$q = w.c.( T - T_a)$$

Siendo w : peso por pie de longitud

Considerando las dos paredes, un pie lineal de horno tiene :

$$2 \times 1 \times 2.5 = 5 \text{ pies}^2$$

El volumen será :  $5 \times \frac{4.5}{12} = 1.98 \text{ pies}^3$

El peso específico del ladrillo de sílice es 110 lb / pie<sup>3</sup>

Peso ~~por~~ pie de longitud =  $1.98 \times 110 = 206.5 \text{ lb}$

c = calor específico

$$c = 0.23 \text{ Btu / lb } ^\circ\text{F}$$

$$T_a = \text{temperatura ambiente} = 60 \text{ } ^\circ\text{F}$$

T = temperatura promedio entre la exterior y la temperatura promedio interior.

La temperatura promedio interior es 1900 °F

Para determinar la temperatura exterior voy a determinar primero la temperatura exterior estacionaria, para luego hallar el tiempo que se demora el horno en alcanzar dicha temperatura; o si es que no la alcanza durante el tiempo que esta encendido.

Para hallar la temperatura exterior estacionaria, empleo como anteriormente la relación entre el espesor de la pared y la conductibilidad.

$$\text{Esta relación es : } \frac{4.5}{15.3} = 0.3$$

Con este valor para una temperatura interior de 1900 °F se obtiene una exterior de 620 °F .

Voy a hallar el tiempo que se demora en alcanzar esta temperatura.

Para esto empleo la fórmula conocida :

$$T_1 = T_2 - (T_2 - T_a)f$$

$$620 = 1900 - (1900 - 60)f$$

$$f = 0.675$$

Con este valor saco que la relación  $\frac{X}{2(a t)^{\frac{1}{2}}} = 0.66$

$$X = \frac{4.5}{12} = 0.375 \text{ pies}$$

$$a = \frac{K}{c.p}$$

$$K = 1.18 \text{ Btu pie} / \text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$p = 110 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

$$a = \frac{1.18}{0.23 \times 110} = 0.0465$$

Reemplazando se tiene :

$$\frac{0.375}{2(0.0465 t)^{\frac{1}{2}}} = 0.66$$

$$t = 1.76 \text{ hr (= 2 horas)}$$

Como el horno va a estar encendido mas tiempo la temperatura exterior será la estacionaria.

La temperatura promedio del refractario será :  $\frac{1}{2}(1900 + 620) = 1260$

La cantidad de calor almacenada por pie de longitud será

$$q = 206.5 \times 0.23 (1260 - 60)$$

$$q = 57000 \text{ Btu} / \text{pie de horno}$$

Cálculo del Calor Almacenado en el Arco

$$\text{Area de la sección del arco : } \frac{0.7854 ( 10.75^2 - 10^2 )}{6} = 2.03 \text{ pies}^2$$

$$\text{Volumen por pie de longitud : } 2.03 \times 1 = 2.03 \text{ pies}^3$$

$$\text{Peso por pie de longitud : } 2.03 \times 110 = 225 \text{ lb}$$

La cantidad de calor almacenada será :

$$q = 225 \times 0.23 ( 1260 - 60 )$$

$$q = 62200 \text{ Btu / pie de longitud}$$

La cantidad total de calor almacenada por pie de longitud de horno será :  $57000 \pm 62200 = 119200 \text{ Btu}$

El total almacenado en el horno será

$$Q_a = 119200 \times 16$$

$$Q_a = 1910000 \text{ BTU}$$

Cálculo de la Pérdida de Calor a través de las Paredes

Esta pérdida está dada por :

$$q = \frac{K}{L} ( T_2 - T_1 )$$

$$K = 13.5 \text{ Btu pulg / hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$L = 4.5 \text{ pulg}$$

$$T_2 = 1900 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 620 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$q = \frac{13.5}{4.5} ( 1900 - 620 )$$

$$q = 3840 \text{ Btu / hr pie}^2$$

Cada pie de longitud de horno tiene 5 pies<sup>2</sup> de superficie.

Luego la pérdida por pie lineal de horno será :

$$3840 \times 5 = 19200 \text{ Btu / hr}$$



Cálculo de la Pérdida de Calor atravez del Arco

Esta pérdida está dada por :

$$q = \frac{T_2 - T_1}{\frac{L}{K \times 6.28 \times r_m}}$$

$r_m$  = radio medio

$r_m$  = 5.25 pies

L = 4.5 pulg

K = 13.5 Btu pulg / hr pie<sup>2</sup> °F

$T_2$  = 1900 °F

$T_1$  = 620 °F

$$q = \frac{1900 - 620}{\frac{4.5}{(13.5)(6.28)(5.25)}}$$

$$q = 126000 \text{ Btu / pie de longitud hr}$$

Pero el arco es solo la sexta parte de la circunferencia.

$$\text{Luego } q = \frac{126000}{6} = 21000 \text{ Btu / pie long hr}$$

La cantidad total perdida por conducción por cada pie de longitud de horno será :  $19200 + 21000 = 40200$  Btu

Todo el horno perderá

$$Q_p = 40200 \times 16$$

$$Q_p = 642000 \text{ Btu / hr}$$

Cálculo del consumo de petroleo

El total de calor para la primera carga será la suma del calor necesario para calentar el horno, mas el calor necesario para calentar la carga, mas el calor perdido por conducción atravez de las paredes durante una hora; pues el calentamiento de la carga se va a realizar en tres horas.

$$Q_1 = 1910000 + 642000 + 984000$$

$$Q_1 = 3536000 \text{ Btu. / carga}$$

$$\text{El promedio por hora ser\'a : } \frac{3536000}{3} = 1178000 \text{ Btu}$$

El calor necesario para la segunda carga ser\'a la suma del calor necesario para el calentamiento mas el calor perdido atravez de las paredes en 3 horas.

$$Q_2 = 642000 \times 3 + 984000$$

$$Q_2 = 2910000 \text{ Btu / carga}$$

$$\text{El promedio por hora ser\'a } \cdot \frac{2910000}{3} = 970000 \text{ Btu}$$

La cantidad de petroleo para la primera carga ser\'a

$$P_1 = \frac{1178000}{9473} = 122 \text{ lb / hr}$$

$$P_1 = 16 \text{ gl / hr}$$

La cantidad de petroleo para la segunda carga ser\'a :

$$P_2 = \frac{970000}{9473} = 102 \text{ lb / hr}$$

$$P_2 = 13 \text{ gl / hr}$$

Debido a que no he tomado en cuenta el calor almacenado en el piso del horno, voy a considerar un consumo promedio durante todo el tiempo de 16 gl / hr .

### Cálculo de los productos totales de combustión

Cantidad de petróleo :  $16 \times 7.44 = 120 \text{ lb}$

Cantidad de aire : La cantidad de aire exacta por lb de petróleo es 14.1 lb; pero he usado 67 % de exceso. Luego la cantidad de aire por lb de petróleo será :  $14.1 \times 1.67 = 23.5 \text{ lb}$

Total de aire :  $120 \times 23.5 = 2820 \text{ lb / hr}$

Una lb de petróleo al quemarse produce :  $\text{CO}_2 : 3.15 \text{ lb} ; \text{H}_2\text{O} : 1.26 \text{ lb}$

$\text{N}_2 : 19.02 \text{ lb} ; \text{O}_2 : 2.28 \text{ lb}$

El total por hora será :

$\text{CO}_2 = 3.15 \times 120 = 378 \text{ lb} = 8.6 \text{ mol}$

$\text{H}_2\text{O} = 1.26 \times 120 = 152 \text{ lb} = 8.45 \text{ ''}$

$\text{N}_2 = 19.02 \times 120 = 2280 \text{ lb} = 81.50 \text{ ''}$

$\text{O}_2 = 2.28 \times 120 = 274 \text{ lb} = 8.60$

Total de moles 107.1

Volumen de los gases de escape :

$$V = 107 \times 359 \frac{1300 \pm 460}{32 \pm 460}$$

$$V = 137000 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

$$V = 2290 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

### Cálculo de la Chimenea

El tiro dado por una chimenea, está dado por la siguiente fórmula :

$$T = 0.255 B \left( \frac{H}{T_c} - \frac{W}{T_h} \right) H \quad ( \text{Trinks} - \text{Pg. 342} )$$

Siendo  $B$  : presión atmosférica en pulgadas de Hg

$B : 29.92$

$T_c$  : temperatura absoluta de la atmósfera

$T_c : 60 \pm 460 = 520 \text{ }^\circ\text{R}$

$T_h$  = temperatura promedio absoluta de los gases en la chimenea.

Asumiendo que la temperatura en la base de la chimenea es 1000 °F y en el tope 500 °F. La promedio será 750 .

$$T_h = 750 + 460 = 1210 \text{ } ^\circ\text{R}$$

w = gravedad específica de los gases con respecto al aire

$$w = \frac{\text{peso específico de los gases}}{\text{peso específico del aire}}$$

El peso total de los gases de combustión es 3048 lb / hr, que corresponde a 107 moles.

$$\text{El volumen de estos gases será } V = 107 \times 359 \frac{750 + 460}{32 + 460}$$

$$V = 94500 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

El peso específico de los gases será :

$$p = \frac{3048}{94500}$$

$$p = 0.0327 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

El volumen ocupado por 29 lb de aire ( 1 mol ) es 359 pies<sup>3</sup> a 32 °F

Su volumen a 60 °F será

$$v = 359 \frac{60 + 460}{32 + 460}$$

$$v = 380 \text{ pies}^3$$

El peso específico del aire será :  $\frac{29}{380} = 0.0765 \text{ lb} / \text{pie}^3$

La gravedad específica de los gases será :

$$w = \frac{0.0327}{0.0765} = 0.429$$

Aplicando la fórmula se tiene :

$$T = 0.255 \times 29.92 \left( \frac{1}{520} - \frac{0.429}{1210} \right) H$$

$$T = 0.0119H$$

Considerando  $\frac{1}{2}$  pulgada de agua como el tiro necesario. La altura de

la chimenea será :  $0.5 = 0.0119H$

$$H = 42 \text{ pies}$$

La altura de la chimenea será 42 pies

$T_h$  = temperatura promedio absoluta de los gases en la chimenea.

Asumiendo que la temperatura en la base de la chimenea es 1000 °F y en el tope 500 °F. La promedio será 750 .

$$T_h = 750 \pm 460 = 1210 \text{ } ^\circ\text{R}$$

w = gravedad específica de los gases con respecto al aire

$$w = \frac{\text{peso específico de los gases}}{\text{peso específico del aire}}$$

El peso total de los gases de combustión es 3048 lb / hr, que corresponde a 107 moles.

$$\text{El volumen de estos gases será } V = 107 \times 359 \frac{750 \pm 460}{32 \pm 460}$$

$$V = 94500 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

El peso específico de los gases será :

$$p = \frac{3048}{94500}$$

$$p = 0.0327 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

El volumen ocupado por 29 lb de aire ( 1 mol ) es 359 pies<sup>3</sup> a 32 °F

Su volumen a 60 °F será :

$$v = 359 \frac{60 \pm 460}{32 \pm 460}$$

$$v = 380 \text{ pies}^3$$

El peso específico del aire será :  $\frac{29}{380} = 0.0765 \text{ lb} / \text{pie}^3$

La gravedad específica de los gases será :

$$w = \frac{0.0327}{0.0765} = 0.429$$

Aplicando la fórmula se tiene :

$$T = 0.255 \times 29.92 \left( \frac{1}{520} - \frac{0.429}{1210} \right) H$$

$$T = 0.0119H$$

Considerando  $\frac{1}{2}$  pulgada de agua como el tiro necesario. La altura de

la chimenea será :  $0.5 = 0.0119H$

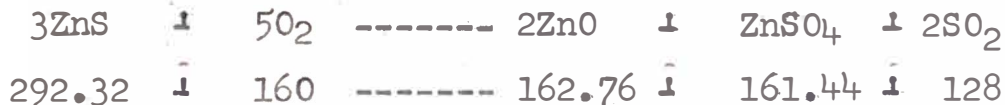
$$H = 42 \text{ pies}$$

La altura de la chimenea será 42 pies

CALCULO DEL HORNO DE REVERBERO

Balace de Materiales .

La reacción que se realiza dentro del horno,debiendose cuidar que la temperatura no se eleve por encima de 1290 °F porque el sulfato de zinc se descompone,es la siguiente :



La producción de la fábrica debe ser 6000 lb de  $\text{SO}_4\text{Zn}$  .

Cantidad de Zn metálico en 6000 lb de  $\text{SO}_4\text{Zn}$

$$\frac{6000 \times 65.38}{161.44} = 2440 \text{ lb}$$

Considesando que el 5 % del Zn queda como sulfuro,el peso total del metal será :

$$\frac{2440 \times 100}{95} = 2570 \text{ lb}$$

Como el concentrado de zinc es de 58 % ,el peso total del concentra- do será :

$$\frac{2570 \times 100}{58} = 4450 \text{ lb} \quad ( 2020 \text{ Kg} )$$

Cantidad de SZn que va a reaccionar .--

Si 65.38 lb de Zn corresponden a 97.44 lb de SZn

2440 " " " " " X " " "

$$X = \frac{2440 \times 97.44}{65.38} = 3640 \text{ lb de SZn}$$

El peso del S será :  $3640 - 2440 = 1200 \text{ lb}$

Peso de los otros componentes :

		<u>Metal</u>		<u>Azufre</u>
FeS	: $4450 \times 0.04 =$	178 lb	$\frac{178 \times 32}{55.8} =$	102 lb
PbS	: $4450 \times 0.01 =$	44.5	$\frac{44.5 \times 32}{207} =$	6.9
MnS	: $4450 \times 0.0083 =$	37.0	$\frac{37 \times 32}{54.9} =$	21.6

$$\begin{array}{rcl}
 : 4450 \times 0.0032 = & 14.0 \text{ lb} & \frac{14 \times 32}{112.4} = 4.0 \text{ lb} \\
 \text{CuS} : 4450 \times 0.002 = & 8.9 & \frac{8.9 \times 32}{63.57} = 4.5 \\
 \text{As}_2\text{S}_3 : 4450 \times 0.007 = & 31.1 & \frac{31.1 \times 32 \times 3}{149.92} = 19.7 \\
 \text{Sb}_2\text{S}_3 : 4450 \times 0.0003 = & 1.3 & \frac{1.3 \times 96}{243.54} = 0.5
 \end{array}$$

Peso total del azufre 159.2 lb

Peso del oxígeno necesario para combinarse con este S = 159.2 lb

Oxígeno necesario para el SZn :  $\frac{3640 \times 160}{292.32} = 1990 \text{ lb}$

Oxígeno para que los otros sulfuros formen óxidos :

$$\text{FeS ( Fe}_2\text{O}_3 \text{ ) } \quad \frac{179 \times 48}{111.6} = 77 \text{ lb}$$

$$\text{PbS ( PbO}_2 \text{ ) } \quad \frac{44.5 \times 32}{207} = 6.9 \text{ ''}$$

$$\text{MnS ( MnO}_2 \text{ ) } \quad \frac{37 \times 32}{54.9} = 21.6 \text{ ''}$$

$$\text{CdS ( CdO ) } \quad \frac{14 \times 16}{112.4} = 2.0 \text{ ''}$$

$$\text{As}_2\text{S}_3 \text{ ( As}_2\text{O}_3 \text{ ) } \quad \frac{31.3 \times 48}{149.92} = 10.0 \text{ ''}$$

$$\text{Sb}_2\text{S}_3 \text{ ( Sb}_2\text{O}_3 \text{ ) } \quad \frac{1.3 \times 48}{243.59} = 0.3 \text{ ''}$$

Total de Oxígeno 117.8 lb

Oxígeno total necesario = 1990 + 117.8 + 159.2

= 2267 lb / 24 hr = 94.5 lb / hr

Total de aire :  $\frac{2267 \times 100}{23} = 9850 \text{ lb} / 24 \text{ hr}$

Consumo por hora : 410 lb

Cantidad de SO<sub>2</sub> producida :

Por el SZn  $\frac{3640 \times 128}{292.32} = 1595 \text{ lb}$

Por los otros sulfuros  $\frac{159.2 \times 64}{32} = 318.4 \text{ lb}$

Total de SO<sub>2</sub> = 1595 + 318.4 = 1913.4 lb / 24 hr  
= 80 lb / hr

Materiales a la entrada.-

Sulfuro de Zn	---	2440 ± 1200	:	3640	lb
" " Fe	---	178 ± 102	:	280	lb
" " Pb	---	44.5 ± 6.9	:	51.4	"
" Mn	---	37 ± 21.6	:	58.6	"
" Cd	---	14 ± 4	:	18	"
" Cu	---	8.9 ± 4.5	:	13.4	"
" As	---	31.1 ± 19.7	:	50.8	"
" Sb	---	1.3 ± 0.5	:	1.8	"
SZn que no reacciona	-----		:	200.	"
Agua	-----		:	102.	"
Demás compuestos	-----		:	24.	"
<hr/>					
Total	-----		:	4450	lb

Dimensiones del Horno .- Un horno de reverbero para la capacidad necesitada tiene las siguientes dimensiones :

Largo de la solera : 30 pies

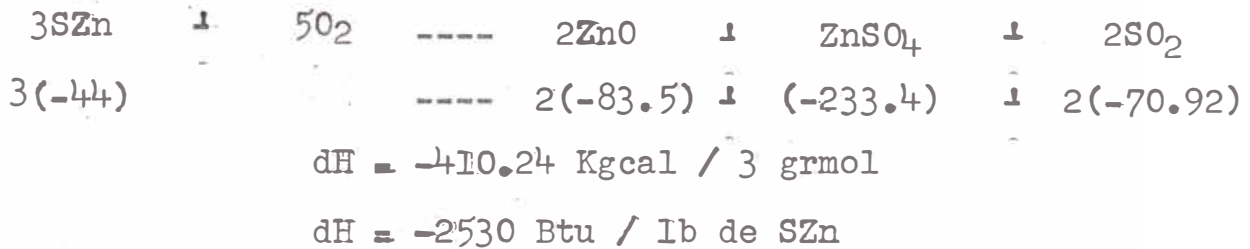
Ancho de la solera : 8 pies

Alto de la pared : 1 pie

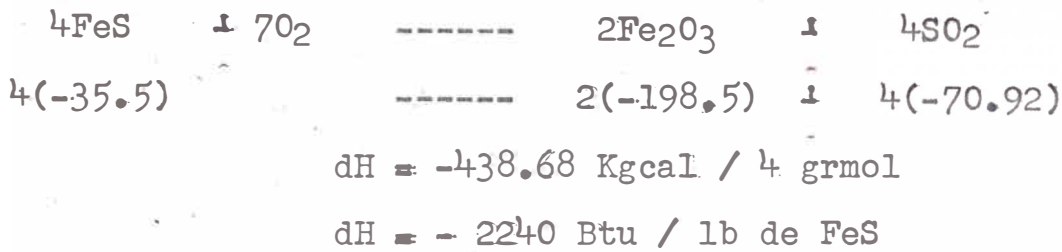


## BALANCE DE CALOR

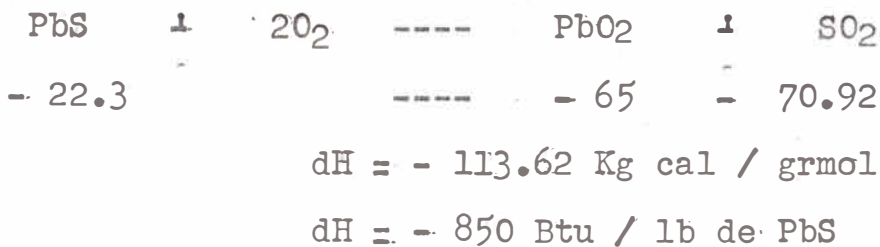
Cálculo de los calores de combustión .-



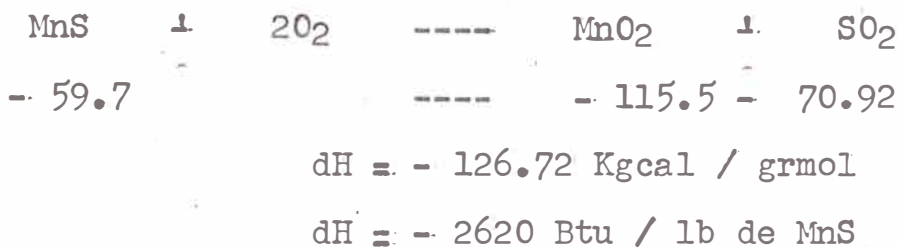
Calor de combustión del FeS.-



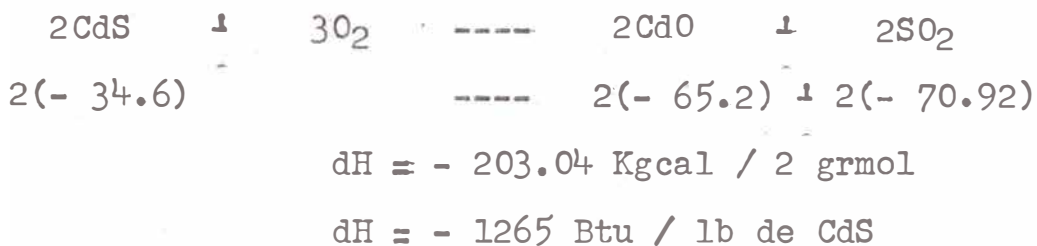
Calor de combustión del PbS .-



Calor de combustión del MnS .-



Calor de combustión del CdS.-



Calor de combustión del As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.-



$$dH = - 683.52 \text{ Kgc}al / 2 \text{ grmol}$$

$$dH = - 2510 \text{ Btu} / \text{lb de As}_2\text{S}_3$$

Calor de combustión del Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.-



$$dH = - 684.92 \text{ Kgc}al / 2 \text{ grmol}$$

$$dH = - 1820 \text{ Btu} / \text{lb de Sb}_2\text{S}_3$$

Calor Producido por el Tostado de la blenda

SZn	3640 x 2530	=	9200000	Btu
FeS	280 x 2440	-	685000	"
PbS	51.4 x 850	=	43600	"
MnS	58.6 x 2620	=	153000	"
CdS	18 x 1265	=	22750	"
As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	50.8 x 2510	=	127000	"
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	1.8 x 1810	-	3260	

Calor Total 10234650 Btu

Calor Cedido por una lb de Petroleo .-

La temperatura del material dentro del horno no debe subir de 1290 °F (700 °C), por lo cual los gases de combustión del petroleo deben estar a temperatura ligeramente superior.

Puedo considerar que los gases de combustión del petroleo entran al horno a 1400 °F y lo abandonan a 1200 °F

Para que los gases de combustión del petroleo bajen su temperatura

hasta 1400 °F, es necesario que se le suministre al petroleo 220 % de exceso de aire ( ver secado ) .

Luego los productos de combustión de una lb de petroleo serán :

CO<sub>2</sub> : 3.15 lb ( 0.072 mol ) ; H<sub>2</sub>O : 1.26 lb ( 0.070 mol )

N<sub>2</sub> : 36.4 lb ( 1.3 mol ) ; O<sub>2</sub> : 7.5 lb ( 0.23 mol ) .

La cantidad de calor que llevan los gases de escape será

$$Q_{CO_2} = 0.072 \times 11.2 \times 1140 = 920 \text{ Btu}$$

$$Q_{H_2O} = 0.070 \times 8.7 \times 1140 = 694 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 1.300 \times 7.25 \times 1140 = 10700 \text{ "}$$

$$Q_{O_2} = 0.234 \times 7.65 \times 1140 = 2040 \text{ "}$$

$$\text{Calor Total} \qquad \qquad \qquad 14354 \text{ Btu}$$

Este cálculo no es rigurosamente exacto, debido a que parte del oxígeno se va a combinar con el S para formar SO<sub>2</sub>; pero puedo considerar mas o menos compensados los cañores sensibles.

El calor producido por una lb de petroleo es 18114 Btu .

El calor cedido por una lb de petroleo será :

$$18114 - 14354 = 3760 \text{ Btu}$$

### Cálculo de las pérdidas de calor atravez de las paredes

Pérdida atravez de las paredes laterales .- Esta pérdida se calcula por la fórmula conocida :

$$q = \frac{K}{L} ( T_2 - T_1 )$$

Siendo  $T_2$  : temperatura interior promedio de las paredes  
:  $\frac{1}{2} ( 1400 + 1200 )$   
: 1300 °F

$T_1$  : temperatura exterior de la pared

Para determinar  $T_1$ , uso el gráfico del libro Efficient Use of Fuel donde para la relación entre espesor de la pared y conductibilidad

$$\frac{L}{K} = \frac{4.5}{11.3} = 0.4$$

Para una temperatura interior de 1300 °F se halla una exterior de 480 °F .

Reemplazando en la fórmula :

$$q = \frac{11.3}{4.5} ( 1300 - 480 )$$

$$q = 2060 \text{ Btu / hr pie}^2$$

Cada pared tiene un pie de alto; luego la pérdida de calor por pie de longitud de horno ( considerando las dos paredes laterales ) será :  $2060 \times 2 = 4120 \text{ Btu / hr}$

#### Pérdida de Calor atravez del Arco

Esta pérdida está dada por la fórmula conocida :

$$q = \frac{T_2 - T_1}{(K) (6.28) (r_m)}$$

$$r_m = 8.2 \text{ pies}$$

Reemplazando la fórmula :

$$q = \frac{1300 - 480}{(11.3)(\underline{4.5})(8.2)} \times \frac{1}{6}$$

$$q = 10600 \text{ Btu / hr pie de longitud de arco}$$

La pérdida total por pie de longitud de horno será :

$$10600 + 4120 = 14720 \text{ Btu / hr}$$

La pérdida total en el horno será :  $14720 \times 30 = 441600 \text{ Btu / hr}$

Pérdida por día :  $441600 \times 24 = 10600000 \text{ Btu}$

$$Q_p = 10600000 \text{ Btu / día}$$

Calor Sensible en la Calcina a 1300 °F

ZnS :	200 x 0.12 x 1240	=	29700	Btu
ZnO :	2020 x 0.15 x 1240	=	383000	
ZnSO <sub>4</sub> :	2010 x 0.17 x 1240	=	424000	"
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	255 x 0.24 x 1240	=	76000	"
PbO <sub>2</sub> :	51.4 x 0.08 x 1240	=	5100	
MnO <sub>2</sub> :	58.6 x 0.23 x 1240	=	16700	"
CdO :	16 x 0.09 x 1240	=	1780	
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	41.3 x 0.17 x 1240	=	8700	
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	13.6 x 0.15 x 1240	=	2530	"
Otros óxidos :	50 x 0.15 x 1240	=	9300	

Calor Total 956810 Btu

La relación entre los calores es la siguiente :

$$Q_c + Q_p = Q_t + Q_k$$

Siendo

$Q_c$  = calor sensible en la calcina

$Q_p$  = calor perdido por las paredes

$Q_t$  = calor de tostado

$Q_k$  = calor cedido por el petroleo

Reemplazando :

$$956810 + 10600000 = 10234650 + Q_k$$

$$Q_k = 1322160 \text{ Btu}$$

El calor cedido por una lb de petroleo es 3760 Btu

$$\text{Petroleo necesario : } \frac{1322160}{3760} = 353 \text{ lb / 24 hr}$$

$$= 14.7 \text{ lb / hr}$$

$$= 1.96 \text{ gl / hr}$$

Debido a que no he tomado en cuenta la pérdida de calor por el pis

del horno, voy a considerar un consumo promedio de petróleo de 3 gl / hr .

Durante el día de la semana que no trabaja el horno, se le debe suministrar calor para que no se enfríe.

Esta cantidad de calor será igual a las pérdidas a través de las paredes. Es hallado que éstas eran 10600000 Btu / día .

Considerando que la cantidad de calor cedida por una lb de petróleo es 4500 Btu. El petróleo necesario será :

$$\begin{aligned} \frac{10600000}{4500} &= 2350 \text{ lb / día} \\ &= 315 \text{ gl / día} \\ &= 13 \text{ gl / hr} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta las pérdidas por el piso del horno puedo considerar un consumo de 15 gl / hr .

#### Cálculo de los Gases de Escape

El total por hora será :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &: 3.15 \times 22.3 = 70.5 \text{ lb} \quad \text{--} \quad 1.60 \text{ mol} \\ \text{H}_2\text{O} &\cdot 1.26 \times 22.3 = 28.1 \text{ lb} \quad \text{-} \quad 1.55 \text{ " } \\ \text{N}_2 &\cdot 36.40 \times 22.3 = 814.0 \text{ lb} \quad = \quad 29.0 \\ \text{O}_2 &\cdot 7.5 \times 22.3 = 167.0 \text{ lb} \quad = \quad 5.24 \end{aligned}$$

El oxígeno necesario para el tostado es 94.5 lb / hr

El oxígeno libre será :  $167 - 94.5 = 72.5 \text{ lb / hr}$

Luego los gases de escape tendrán la siguiente composición :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 70.5 \text{ lb} \quad \text{-} \quad 1.60 \text{ mol} \\ \text{H}_2\text{O} &- 28.1 \text{ lb} \quad \text{-} \quad 1.55 \text{ " } \\ \text{N}_2 &= 814.0 \text{ lb} \quad = \quad 29.00 \text{ " } \\ \text{O}_2 &72.5 \text{ lb} \quad = \quad 2.26 \\ \text{SO}_2 &- 80.0 \text{ lb} \quad = \quad 1.25 \text{ " } \end{aligned}$$

Total de moles : 35.66

Volumen de los gases de salida :

$$V = 35.66 \cdot 359 \frac{1200 \pm 460}{32 \pm 460}$$

$$V = 43100 \text{ pies}^3 / \text{hr} = 720 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

El análisis de los gases será :

Por peso.--

$$\text{CO}_2 : \frac{70.5 \times 100}{1065.1} = 6.54 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} : \frac{28.1 \times 100}{1065.1} = 2.64 \%$$

$$\text{N}_2 : \frac{814 \times 100}{1065.1} = 76.50 \%$$

$$\text{O}_2 : \frac{72.5 \times 100}{1065.1} = 6.82 \%$$

$$\text{SO}_2 : \frac{80 \times 100}{1065.1} = 7.50 \%$$

Por volumen .-

$$\text{CO}_2 : \frac{1.6 \times 100}{35.66} = 4.50 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} : \frac{1.55 \times 100}{35.66} = 4.35 \%$$

$$\text{N}_2 : \frac{29.0 \times 100}{35.66} = 81.40 \%$$

$$\text{O}_2 : \frac{2.26 \times 100}{35.66} = 6.25 \%$$

$$\text{SO}_2 : \frac{1.25 \times 100}{35.66} = 3.50 \%$$

Absorción del SO<sub>2</sub> .- El SO<sub>2</sub> al entrar en contacto con el carbonato de calcio y el agua reacciona produciendo :



El agua es enviada a la torre por una bomba centrífuga de capacidad, 5 gl / minuto y motor de  $\frac{1}{2}$  HP .

Los gases serán tomados en la torre por un ventilador.

### Tanque de Lixiviación

La calcina producida en el tostado tiene la siguiente composición :

ZnO : 2020 lb  
ZnSO<sub>4</sub> : 2010 lb  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 255 lb  
PbO<sub>2</sub> : 51.4 lb  
MnO<sub>2</sub> : 58.6 lb  
CdO : 16.0 lb  
As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 41.3 lb  
Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 13.6 lb  
Otros óxidos : 50 lb

Cantidad de ácido sulfúrico necesaria para :

$$\text{ZnO} : \frac{2020 \times 98}{81.38} = 2430 \text{ lb}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 : \frac{255 \times 98}{169.68} = 148 \text{ lb}$$

$$\text{PbO}_2 : \frac{51.4 \times 98}{239.21} = 21 \text{ lb}$$

$$\text{MnO}_2 : \frac{58.6 \times 98}{86.93} = 66.2 \text{ lb}$$

$$\text{As}_2\text{S}_3 : \frac{41.3 \times 98}{197.82} = 20.4 \text{ lb}$$

$$\text{Sb}_2\text{O}_3 : \frac{13.6 \times 98}{291.52} = 4.6 \text{ lb}$$

$$\text{CdO} : \frac{16 \times 98}{128.41} = 12.2$$

---

Total

2742 lb de ácido sulfúrico



La cantidad de sulfato de zinc formada por 2430 lb de ácido es

$$\frac{2430 \times 161.38}{98} = 4000 \text{ lb}$$

Cantidad de sulfato producida por el tóstado : 2010 lb

Total de sulfato de zinc :  $4000 + 2010 = 6010 \text{ lb}$

En realidad la cantidad de sulfato que se necesita diariamente es 5400 lb, pero se produce un poco mas para seguridad puesto que parte de la carga del horno se va con los gases de escape .

Para la lixiviación se debe agregar ácido de 50 °Be

La gravedad específica que corresponde a 50 °Be está dada por la fórmula :

$$^{\circ}\text{Be} = 145 - \frac{145}{G}$$

Siendo G : gravedad específica

$$50 = 145 - \frac{145}{G}$$

$$G = 1.62 \quad ( 100 \text{ lb} / \text{pie}^3 )$$

En la tabla 117 de Perry (Pg. 429) se halla que con esta gravedad específica y a 20 °C, la solución de ácido es de 70 % .

La cantidad de ácido puro que se necesita es 2742 lb ( gravedad específica 1.835 ).

La cantidad de agua que va a tener este ácido es

$$\frac{2742 \times 30}{70} = 1175 \text{ lb}$$

La cantidad, de sulfato que se va a preparar diariamente es 5400 lb

La solución de sulfato debe estar al 30 % .

La cantidad de agua que va a tener es :  $\frac{5400 \times 70}{30} = 12600 \text{ lb}$

Como ya hay 1175 lb de agua con el ácido, se le debe agregar :

$$12600 - 1175 = 11425 \text{ lb}$$

El peso de la solución de sulfato es:  $12600 \pm 5400 = 18000$  lb

Su peso específico es :  $84.4$  lb/ pie<sup>3</sup>.

El volumen será :  $\frac{18000}{84.4} = 214$  pies<sup>3</sup>

Considerando el tanque de lixiviación con un volumen de  $251$  pies<sup>3</sup>

El tanque será de madera recubierto de plomo y con una capa de ladrillos silíceos para protegerlo de la acción del ácido .

Será cilíndrico con fondo cónico.Sus dimensiones serán :

Diámetro del cilindro :  $8$  pies

Area de la sección del cilindro :  $50.2$  pies<sup>2</sup>

Altura del cilindro :  $4$  pies

Volumen del cilindro :  $200.8$  pies<sup>3</sup>

Altura del cono :  $3$  pies

Volumen del cono :  $50.2$  pies<sup>3</sup>

Volumen del tanque :  $200.8 \pm 50.2 = 251$  pies<sup>3</sup> .

La solución de sulfato de zinc con los metales precipitados es descargada mediante una bomba y alimentada a un filtro prensa de acero inoxidable, de 10 celdas de 12", pasando la solución ya pura a un tanque de almacenamiento.

Tanque para la solución de sulfato de zinc.- El volumen de solución es  $214$  pies cúbicos .

Usando un tanque cilíndrico vertical de  $8$  pies de diámetro y  $5$  pie de alto se puede almacenar con exceso la solución .

Volumen del tanque :  $0.7854 \times 64 \times 5 = 251$  pies<sup>3</sup>

Tanque de Almacenamiento de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> .- La cantidad de ácido de  $50$  °B es :  $2742 \pm 1175 = 3917$  lb .

Volumen de ácido consumido diariamente :  $\frac{3917}{100} = 39.17$  pies<sup>3</sup>.

=  $292$  gal

Almacenando ácido para 8 días de trabajo, el volumen total será :  
 $39.17 \times 8 = 320 \text{ pies}^3$  .

Usando un tanque rectangular de 6 pies de ancho, 5 pies de alto y 11 pies de largo, se puede almacenar perfectamente la cantidad requerida.

Volumen del tanque :  $6 \times 5 \times 11 = 330 \text{ pies}^3$

#### Bomba para la Solución de Sulfato de Zinc .-

Esta bomba servirá para alimentar la solución de sulfato al tanque de reacción.

La solución por bombear, necesaria para una carga de litopón, tiene 2700 lb de sulfato y 6300 lb de agua; en total, 9000 lb con un volumen de  $107 \text{ pies}^3$ , que corresponden a 795 galones.

Usando el catálogo de la Aurora Pump Co. selecciono una bomba centrífuga Modelo I - 4, de 1" de succión, de  $\frac{1}{2}$  HP, de 1450 rpm, que contra 10 pies de carga proporciona 35 gal / minuto .

Tiempo de bombeo :  $\frac{795}{35} = 22 \text{ minutos}$

## SELECCION DE QUEMADORES PARA LOS HORNOS

### Quemadores para el Horno Rotatorio

El consumo de petroleo de este horno es 45 gl / hr .Por lo tanto voy a usar 3 quemadores que consuman 15 gl / hr cada uno; así durante el segundo secado solo permanecerá encendido uno.

Voy a emplear quemadores de 10 onzas / pulg<sup>2</sup> ( baja presión )

A esta presión corresponde suministrar 7 0% del total del aire necesario directamente con el petroleo, y el 30 % restante como aire secundario.

Con estos datos, en el catálogo de la compañía The North American Mfg. Co. selecciono quemadores 2 00-7 que tiene cada uno una capacidad máxima de 20 gl / hr .

Es necesario determinar también el ventilador necesario para estos quemadores.

El ventilador debe dar una presión de 12 onzas / pulg<sup>2</sup>

La cantidad de aire que debe suministrar el ventilador debe ser la siguiente :

Aire por lb de petroleo : 14.81 lb

Total de petroleo : 45 x 7.44 = 335 lb / hr

Total de aire : 14.81 x 335 = 4950 lb / hr

Volumen ocupado por 1 mol de aire ( 29 lb ) = 380 pies<sup>3</sup> a 60 °F

Volumen ocupado por 4950 lb :

$$\begin{aligned} \frac{380}{29} \times 4950 &= 65000 \text{ pies}^3 / \text{hr} \\ &= 1080 \text{ pies}^3 / \text{minuto} \end{aligned}$$

Del catálogo anterior selecciono un turbo ventilador 312 - D1 que proporciona 1100 pies<sup>3</sup>/ minuto de aire a una presión estática de 12 onzas / pulg<sup>2</sup>.

Este ventilador debe usar un motor de 5 HP .

Quemador para el Horno de Mufla

El consumo de petróleo de este horno es 16 gl / hr.

Este quemador trabaja casi con las mismas condiciones que los quemadores del horno rotatorio; por lo tanto, el quemador será un 200-7 de 10 onzas de presión, que tiene una capacidad máxima de 20 gl / hr

El ventilador empleado para este quemador será de capacidad diferente al anterior.

La cantidad de aire que se debe suministrar será la siguiente :

Aire por lb de petróleo :  $14.81 \times 167 = 24.7$  lb

Total de petróleo :  $16 \times 7.44 = 119$  lb / hr

Total de aire :  $119 \times 24.7 = 2940$  lb / hr

Volumen del aire :

$$\frac{380 \times 2940}{29} = 38500 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$
$$= 640 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

Selección un turbo ventilador 312 - D1 que proporciona 600 pies cúbicos de aire por minuto a una presión estática de 12 onzas / pulg<sup>2</sup>

Este ventilador debe usar un motor de 3 HP .

Quemador para el Horno de Reverbero

En este horno se va a quemar normalmente 3 gl / hr , excepto el día Domingo que se quema 15 gl / hr.

Voy a usar 2 quemadores que tengan cada uno una capacidad máxima de 8 gl / hr , estando normalmente prendido uno, con la llave de suministro a medio abrir para que el consumo pueda bajar a 3 gl /hr

Selección del mismo catálogo quemadores 200 - 6 de 10 onzas de presión .

Su ventilador debe dar también una presión estática de 12 onzas.

La cantidad de aire que se debe suministrar será la siguiente:

Aire por lb de petróleo :  $14.81 \times 3.2 = 47.3$  lb

Total de petroleo :  $3 \times 7.44 = 22.32 \text{ lb / hr}$

Total de aire :  $47.3 \times 22.32 = 1060 \text{ lb / hr}$

Volumen del aire :

$$\begin{aligned} \frac{380 \times 1060}{29} &= 13800 \text{ pies}^3 / \text{hr} \\ &= 230 \text{ pies}^3 / \text{minuto} \end{aligned}$$

Selecciono un turbob ventilador 312 - C1 que proporciona 250 pies cúbicos por minuto de aire a una presión estática de 12 onzas por pulgada cuadrada .

Necesita un motor de 1.5 HP .

Cada quemador de estos debe estar servido por un ventilador.

Es necesario colocar también, en las cámaras de combustión de los hornos, aberturas por si es necesario suministrar mayor cantidad de aire secundario.

En estas aberturas encajan una especie de jaulas hechas de planchas de fierro con perforaciones.

Moviendo estas jaulas hacia afuera o hacia adentro se gradúa el ingreso de aire a las cámaras de combustión .

#### Regulación del Suministro de Petroleo a los Quemadores

Durante las diferentes horas del día el consumo, de petroleo varía según estén los hornos apagados .

Así durante ciertas horas, el consumo es de 63 gl / hr , baja después a 48, posteriormente a 19, y por último, durante la noche que solo trabaja el horno, de reverbero, el consumo es de 3 gl / hr .

Es necesario, por lo tanto, hacer una instalación de tal manera que sea posible graduar a voluntad el consumo, cosa que no se puede hacer si el petroleo se suministra directamente con una bomba rotatoria.

La instalación será la siguiente: El tanque de almacenamiento estará colocado en una excavación, completamente bajo el nivel del piso. De este tanque se saca el petróleo mediante una bomba centrífuga y se sube a un tanque vertical colocado en una plataforma elevada 4 metros sobre el nivel del piso.

En la parte inferior del tanque hay una tubería por donde se descarga el petróleo y se suministra a los quemadores.

Antes de llegar a los quemadores hay una tubería en by-pass que regresan al tanque de almacenamiento, y que se ponen en servicio abriendo sus válvulas cuando no trabajan sus respectivos quemadores.

En la parte superior del tanque elevado hay un rebose, por si su nivel sube mucho, y que comunica igualmente con el tanque de almacenamiento.

#### Tanque de Almacenamiento de Petróleo

Se va a almacenar petróleo para el consumo de 7 días de la fábrica

El consumo diario es

Horno rotatorio :  $45 \times 6 = 270$  gl

Horno de mufla :  $16 \times 6 = 96$  gl

Horno reverbero :  $24 \times 3 = 72$  gl

Sugundo secado :  $15 \times 4 = 60$  gl

Total 498 gl

Consumo en 7 días :  $498 \times 7 = 3496$  gl

Consumo del reverbero el día Domingo :  $24 \times 15 = 360$  gl

Consumo total :  $3496 + 360 = 3856$  gl

Usando un tanque rectangular de 6.5' de ancho, 6' de alto y 14' de largo, se obtiene una capacidad de 545 pies cúbicos ( 4070 gl )

## EQUIPO DE MOLIENDA

Molienda de Baritina

Se debe moler la baritina hasta malla # 100. Para esto se va a usar un circuito de chancadora de mandíbulas con molino de bolas.

Características de la chancadora :

Tipo Blake

Fabricada por la International Clay Machinery

Capacidad : 2 Ton / hr

Abertura de alimentación : 9 x 12"

Descarga : 1.5"

Potencia requerida : 15 HP

Material : Acero con mandíbulas de acero al manganeso

Características del molino de bolas :

Molino de bolas Hardinge

Capacidad : 2 Ton / hr

Descarga : 98 % la malla # 100 Alimentación : 1.5"

Tamaño del molino : 4.5' x 24"

Potencia requerida : 25 HP

Velocidad : 28 rpm

Molienda de Carbón

Se empleará un molino de martillos.

Características :

Molino de martillos Barrow's Impact

Capacidad : 220 lb / hr

Descarga : 0.25"

Potencia requerida : 8 HP



Chancadora para el Cake del Primer Secado

Allis Chalmer Tipo Dodge

Abertura de alimentación : 4" x 6"

Capacidad : 1 Ton / hr

Descarga : 1.5"

Potencia requerida : 3 HP

Molienda del litoión que sale del horno de mufla

Características del equipo empleado :

Molino de bolas Hardinge

Tamaño del molino : 7' x 36"

Alimentación : 1.5"

En circuito con hidroseparador

Fineza del producto : malla # 325

Capacidad máxima del molino : 2 Ton / hr

Velocidad del molino : 22 rpm

Potencia requerida : 25 HP

Humedad de entrada : 28 %

Diámetro del hidroseparador : 6'

Altura del hidroseparador : 2'

Motor del hidroseparador : 0.25 HP

Overflow : 20 Ton / 24 hr

Underflow : 18 Ton / 24 hr

El circuito produce 0.84 Ton / hr

Mezcladora para Carbón y Baritina

Marca : Ransome

Diámetro del cilindro : 45"

Largo del cilindro : 4'

Capacidad : 9 pies cúbicos

Motor necesario : 5 HP

COSTO DETALLADO DEL EQUIPOMolienda y Mezcla

	<u>Costo</u>	<u>Instalación</u>	<u>Total</u>
1 Chancadora para baritina incluyendo motor de 15 HP y faja en V . . . . .	\$/ 39500	.. 10 %	..S/ 43450
1 Molino de bolas para ba- ritina, incluyendo motor de 25 HP . . . . .	97500	.. 15 %	.. 112125
1 Molino de martillos para carbón, incluyendo motor de 8 HP . . . . .	11800	.. 10 %	.. 12980
1 Mezcladora, incluyendo mo- tor de 5 HP . . . . .	5500	.. 5 %	.. 5775
2 Balanzas de 300 Kg . . . . .	2600	..	.. 2600
4 Carretillas para el trans- porte de sacos; a S/ 800 ca- da una . . . . .	3200	..	.. 3200

Horno Rotatorio

2 Motores eléctricos GE de 10 HP, para mover el horno (uno de repuesto), incluyen- do llave magnética de arran- que. A S/ 6030 cada uno . . . . .	12060	.. 10 %	.. 13266
1 Cilindro de fierro de 1/2" de espesor, de 20' de largo 7' de diámetro, con abertu- ras de 2' en sus extremos. Incluyendo accesorios para trasmisión de movimiento y reducción de velocidad de un motor de 1200 rpm . . . . .	45000	.. 20 %	.. 54000
3 Quemadores de 20 gl / hr de capacidad, incluyendo ven- tilador y demás accesorios. A 5590 soles cada uno . . . . .	17700	.. 10 %	.. 19470
5 Planchas de fierro de 0.25" de 4'x 8', para cubrir el plano inclinado. Con un peso de 152 Kg cada una. A S/ 3.8 el Kg . . . . .	2588	.. 5 %	.. 2737

1800 ladrillos refractarios de Cromo standard de 6" para revestir el cilindro A S/ 4.5 cada uno .....	8100	.. 15 % ..	9315
39.6 m <sup>3</sup> de muro de concreto ciclopeo para apoyo del cilindro.A S/ 63 el m <sup>3</sup> .....	2495	.. - ..	2495
16 m <sup>3</sup> de muro de concreto para el plano inclinado .....	1008	.. - ..	1008
2 paredes de ladrillos de 4.2 m de ancho, 5.7 m de alto para sostener las plataformas.A S/ 800 cada una .....	1600	.. - ..	1600
4 Tijerales de pino Oregon de 10.2 m de luz, para colocar el techo del horno. A S/ 1218 cada uno .....	4872	.. 15 % ..	5602
2 Paredes de ladrillos, de 4m de alto y 3.5 m de largo, para sostener los tijerales. A S/ 170 el m. lineal .....	1190	.. - ..	1190
48 planchas de Eternit de 3 m.x 0.9 m., para techo del horno.A S/ 45 cada una .....	2160	.. 10 ..	2376
1 Excavación de 1 m. x 0.9 m. x 11 m., para ducto de salida de los gases.A S/ 8.5 el m <sup>3</sup> .....	84	.. - ..	84
1500 ladrillos refractarios de Cromo rectilíneos, para la cámara de combustión . A S/ 4.0 cada uno .....	6000	.. 10 % ..	6600
1 Escalera de fierro de 11' de alto .....	240	.. 10 % ..	264
2 Escaleras de fierro de 5' de alto.A S/ 120 cada una .....	240	.. 10 % ..	264
2 Plataformas de varillas de fierro de 1" de espesor, 21' de largo y 14' de ancho. A S/ 6500 cada una .....	13000	.. 10 % ..	14300
2 Tolvas de fierro, de forma de tronco de cono, de 4pies de alto.A S/1100 cada una .....	2200	.. 10 % ..	2420

2 Ventiladores (uno de repuesto) para gases de combustión, incluyendo sus motores de 1 HP .				
A S/ 1720 cada uno	.....	3440	.. 5 % ..	3612
1 Montacargas con capacidad de 200 KG	.....	2250	.. 5 % ..	2362
2000 ladrillos refractarios de arcilla, para la cámara de polvo. A S/ 1.8 cada uno	.....	3600	.. 10 % ..	3960
2980 ladrillos refractarios de arcilla, para el conducto de salida de los gases	.....	5364	.. 10 % ..	5900
3200 ladrillos rojos corrientes, para la chimenea.				
A S/ 180 el millar	.....	576	.. 15 % ..	662

### Tanques y Bombas

1 Tanque de Pino Oregon, de 0.75" de espesor, de 9' de diámetro y 4.5' de alto, para efectuar la solución del SBA	....	120	.. 20 % ..	144
1 Agitador con motor de $\frac{1}{2}$ HP para el tanque de solución	.....	1200	.. 5 % ..	1260
2 Bombas centrífugas (una de repuesto) de $\frac{1}{2}$ HP, para descargar el tanque de solución, incluyendo motor y válvula automática de cebado.				
A S/ 3300 cada una	.....	6600	.. 12 % ..	7392
1 Tanque para sedimentar las impurezas de la solución de SBA; similar al anterior	.....	120	.. 20 % ..	144
2 Tanques de Pino Oregon de 0.75" de espesor, de 6' de diámetro y 7' de alto, para precipitación del litopón				
A S/ 115 cada uno	.....	230	.. 20 % ..	276
2 Agitadores con sus respectivos motores de $\frac{1}{2}$ HP	.....	2400	.. 5 % ..	2520
2 Bombas de diafragma Denver # 2 Simplex (una de repuesto) para descargar el litopón precipitado; incluyendo sus motores de 3 HP				
A S/ 7500 cada una	.....	15000	.. 12 % ..	16800

28 Tanques de Pino Oregon, de 0.75" de espesor, de 5.5 pies de diámetro y 3.3' de alto, para sedimentación del litopón. A S/ 75 cada uno	....	2100	..	20 %	..	2520
5 Bombas de diafragma Denver # 2 Simplex (una de repuesto) para alimentar los filtro prensas; incluyendo sus motores de 1 HP. A S/ 4000 cada una	...	20000	..	12 %	..	24000
4 Filtro prensas de 28 cámaras de 30". A S/ 26000 cada uno	.....	104000	..	20 %	..	124800
Perforación de un pozo de unos 25 m de profundidad, incluyendo instalación de bomba y tanque de agua elevado	.....	80000	..		..	80000
1 Excavación de 13.5 m <sup>3</sup> para colocar el tanque de solución de SBa .A S/ 8.5 el m <sup>3</sup>	.....	114	..		..	114
2 Excavaciones de 12.1 m <sup>3</sup> cada una, para colocar los tanques de reacción. Total : 24.2 m <sup>3</sup>	...	206	..		..	206
2 Excavaciones de 48 m <sup>3</sup> cada una, para colocar los tanques de sedimentación del litopón que sale del hidroseparador. Total : 96 m <sup>3</sup>	....	816	..		..	816
1 Excavación de 18.4 m <sup>3</sup> para colocar el tanque de almacenamiento de solución de SO <sub>4</sub> Zn .	....	156	..		..	156

### Secador

4506 pies de tubería de acero especial KA2, de 2", fabricada por la Symington Gould Corp. A S/ 20 el pie	....	9000	..	10 %	..	9900
16 carritos de tubería de fierro soldada, de 3' de largo, 3' de ancho y 4.5' de alto. A S/ 700 cada carrito	....	11200	..		..	11200

6 Juegos de bandejas de ma- lla metálica, cuadradas de 30 " de lado y 2.5" de pro- fundidad (176 bandejas por juego; en total 1056) .				
A S/ 15 cada bandeja	....	15840 ..	..	15840
1 Chancadora para el cake del primer secado, incluyendo moyor de 3 HP	....	27000 ..	10 % ..	29700
2 Ventiladores (uno de repues- to) para 4630 pies <sup>3</sup> de aire por minuto; incluyendo sus mo- tores de 4 HP .				
A S/ 4500 cada uno	....	9000 ..	5 % ..	9450
15 m de línea Decauville de 0.5 m de trocha	....	3100 ..	15 % ..	3565
2 Paredes de ladrillo de 8 m de largo y 1.8 m de alto. Total; 16 m lineales.				
A S/ 100 el m lineal	....	1600 ..	- ..	1600
1 Techo aligerado de 8 m de largo y 1.2 m de ancho.				
A S/ 62 el m <sup>2</sup>	....	595 ..	..	595
<u>Horno de Mufla</u>				
580 ladrillos refractarios de sílice, rectilíneos, para las paredes laterales.				
A S/ 2.0 cada uno	....	1160 ..	10 % ..	1276
800 ladrillos refractarios de sílice rectilíneos para el piso del horno.				
A S/ 2.0 cada uno	....	1600 ..	10 % ..	1760
1570 ladrillos refractarios de sílice para arco de 4.5"				
A S/ 2.0 cada uno	....	3140 ..	15 % ..	3611
2 Quemadores para 20 gl / hr (uno de repuesto) incluyendo ventilador y demás accesorios				
A S/ 5300 cada uno	....	10600 ..	10 % ..	11600
6 Rieles de 7' de largo con 465 Kg de fierro	....	1760 ..	5 % ..	1848
8 Ventanas de fierro de 1.5' de largo y 1' de ancho.				
A S/ 55 cada una	....	440 ..	5 % ..	465

1 Mufla de Carborundum de 1" de espesor, de 2 pies de alto 15 pies de largo y 3 pies de luz interior entre las paredes. Fabricada por la Norton Company.	....	32200	.. 10 % ..	35420
800 ladrillos aislantes de magnesita, para el piso. A S/ 2.4 cada uno	.....	1920	.. 10 % ..	2112
500 ladrillos refractarios de arcilla, para el ducto de salida. A S/ 1.8 cada uno	....	900	.. 10 % ..	900
3300 ladrillos refractarios de arcilla, para la chimenea ...		5940	.. 15 % ..	5831
5000 ladrillos rojos para la chimenea. A S/ 180 el millar	....	900	.. 15 % ..	1035
1 Tanque de fierro rectangular, de 10' de largo, 6.5' de ancho y 1' de profundidad; para apagar el litopón	....	1800	.. 10 % ..	1980
1 Molino de bolas con hidroseparador, incluyendo alimentador y motores de 25 HP para el molino y 0.25 para el hidroseparador.	.....	103200	.. 20 % ..	122300
1 Desintegrador para el cake del segundo secado, incluyendo moyor de 15 HP, sedazo y demás accesorios	....	45000	.. 20 % ..	54000
1 Balanza de 300 KG	....	1300	.. ..	1300
2 Excavaciones de 4.9 m <sup>3</sup> total A S/ 8.5 el m <sup>3</sup>	....	42	.. ..	42
1 Excavación de 2.16 m <sup>3</sup> , para el ducto de salida de los gases.	....	19	.. ..	19
<u>Horno de Reverbero</u>				
3480 ladrillos refractarios de sílice para arco, de 4.5" A S/ 2.0 cada uno	....	6960	.. 15 % ..	7999
800 ladrillos refractario de sílice, para las paredes laterales	....	1600	.. 10 % ..	1760

16 Ventanas de fierro de 1' por 1' .A S/ 40 cada una .....	640 ..	5 % ..	672
1 Techo de 2.1 m de ancho y 9 m de largo.Total 18.9 m <sup>2</sup> .A S/ 62 el m <sup>2</sup> .....	1170 ..	..	1170
4 Vigas de concreto de 2.4m de largo 0.3 m de ancho y 0.15 de espesor.Total 0.432 m <sup>3</sup> .A S/ 600 el m <sup>3</sup> .....	259 ..	..	259
2 Paredes de ladrillo de 9m de largo y 0.9 de alto. A S/ 60 el m lineal de pared. ....	1080 ..	..	1080
1 Excavación de 4.9 m <sup>3</sup> para ducto de salida de los gases .	42 ..	..	42
1600 ladrillos refractarios de arcilla, para el ducto de salida de los gases. A S/ 1.8 cada uno .....	2880 ..	10 % ..	3168
1340 ladrillos refractarios rectilíneos de sílice, para la solera del horno A S/ 2.0 cada uno .....	2680 ..	10 % ..	2948
1340 ladrillos aislantes de magnesita, para el piso del horno. ....	3216 ..	10 % ..	3537
1400 ladrillos refractarios de arcilla para el piso del cuarto de enfriamiento de la calcina. ....	2520 ..	10 % ..	2772
2 Quemadores para 8 gl/hr, incluyendo ventilador y demás accesorios. A S/ 4870 cada uno. ....	9740 ..	10 % ..	10714
6 Rieles de 8.5' de largo con 565 Kg de fierro, total ...	2140 ..	5 % ..	2247
2 Carritos para descargar la calcina. A S/ 2100 cada uno .....	4200 ..	..	4200
1 Torre de fierro cilíndrica de 0.25" de espesor, de 15' de alto y 3' de diámetro; para absorción del SO <sub>2</sub> . ....	3500 ..	15 % ..	4025
1 Torre similar a la anterior, pero de 10' de alto, para absorción del SO <sub>2</sub> .....	2400 ..	15 % ..	2760



2 Bombas centrífugas (una de repuesto) para agua de absorción del SO <sub>2</sub> ; de 5 gl/min incluyendo motor de 0.25 HP A S/ 1290 cada una	....	2580 .. 12 % ..	2890
3. Exhaustores Fungen (Tipo Bufalo) # 2 (uno, de repuesto) de 15" de salida, para los gases del horno; incluyendo motor de 1 HP. Cada uno a S/ 1560	....	4680 .. 15 % ..	
1 Balanza de 300 Kg para pesar calcina	....	1300 .. ..	1300
1 Tanque rectangular para ácido sulfúrico, de 5' de alto, 6' de ancho y 11' de largo ..		7500 .. 10 % ..	8250
2 Bombas para ácido sulfúrico (una de repuesto) incluyendo motor de 1 HP. Cada una a S/ 2835 .	.....	5670 .. 12 % ..	6350
1 Bomba similar a las anteriores, para alimentar al filtro prensa.	....	2835 .. 12 % ..	3175
1 Tanque de lixiviación tipo Pachuca de 251 pies <sup>3</sup>	....	9500 .. 20 % ..	11400
1 Compresora de 5 HP para agitar el tanque de lixiviación ..		7000 .. 15 % ..	8050
1 Filtro prensa Shriver de 10 celdas de acero inoxidable, de 12"	....	18000 .. 20 % ..	21600
1 Tanque de Pino Oregon, de 8' de diámetro y 5' de alto; para almacenar solución de sulfato de zinc.	....	100 .. 20 % ..	120
1 Bomba centrífuga, para solución de sulfato de zinc, de 1/2 HP, incluyendo motor necesario y válvula automática de cebado.	....	3300 .. 12 % ..	3696
1 Tanque rectangular, de fierro para almacenar petróleo, de 6' de ancho, 6.5' de alto y 14' de largo	....	8900 .. 15 % ..	10235
1 Tanque rectangular para alimentar los quemadores, de 6 pies de largo, 6' de ancho y 5' de alto	....	4500 .. 30%...	5850

2 Bombas centrífugas para sacar el petróleo del tanque de almacenamiento (una de repuesto) .Capacidad 90gl/hr Cada una a S/ 920 ,incluyendo motor de 0.25 HP ..... 1840 .. 12 % .. 2050

Equipo contra incendio ..... 10000

Equipo para el taller de mecánica ..... 20000

Equipo para el taller de carpintería ..... 15000

Muebles para las oficinas ..... 15000

Costo total del equipo instalado ..... S/ 1126917

Costo de Terreno y Construcciones

1890 m<sup>2</sup> de terreno para la fábrica.  
A S/ 30 el metro cuadrado ..... S/ 56700

1000 m<sup>2</sup> de terreno para posibles ampliaciones ..... 30000

264 m lineales de pared de ladrillos, con cimientos y sobrecimientos, de 4m de alto; para muro exterior. A S/ 170 el m lineal ..... 44880

249 m lineales de pared, similar a la anterior; para oficinas, depósitos, talleres, etc. ..... 42330

Enlucido de oficinas ..... 9000

1940 m<sup>2</sup> de piso de concreto ciclopeo, de 3" de espesor.  
A S/ 15 el m<sup>2</sup> ..... 29100

327 m<sup>2</sup> de techo aligerado, para oficinas, talleres, depósitos, etc  
A S/ 62 el m<sup>2</sup> ..... 20274

120 m<sup>2</sup> de techo, para el edificio del horno de reverbero .....

1400 metros cuadrados de techo de Eternit, para el resto de la fábrica; incluyendo cuartería de madera. A S/ 55 el metro cuadrado ..... 70000

94 m <sup>2</sup> de piso de madera de 3"x 1" para oficinas. A S/ 55 el m <sup>2</sup> .....	5170
150 m <sup>2</sup> de puertas y ventanas de Pino Oregon. A S/ 150 el m <sup>2</sup> .....	22500
Instalaciones de servicio higiénicos, agua, desagüe y luz .....	15000
COSTO TOTAL DEL TERRENO .....	S/ 86700
COSTO TOTAL DE EDIFICIOS .....	265694

Personal de Empleados de la Fábrica

	<u>Sueldos</u>
1 Gerente .....	S/ 3000
1 Ing. Químico, jefe de la fábrica .....	2500
1 Químico .....	1500
1 Capataz .....	1000
1 Encargado de ventas .....	1300
1 Contador .....	1400
1 Cajero .....	1000
1 Auxiliar de contabilidad .....	800
2 Empleados para oficina A S/ 700 cada uno .....	1400
1 Encargado de los depósitos .....	1000
1 Secretaria para el Gerente .....	600
1 Guardián nocturno .....	700
1 Portero diurno .....	500
1 Conserje .....	400
Total mensual .....	17100
Total anual .....	205200

Personal de obreros

	<u>Jornal diario</u>
2 Obreros para la molienda de baritina. A S/ 15 cada uno	S/ ..... 30
1 Obrero para la molienda de carbón	..... 15
1 Obrero para la atebción de la mez- cla y pesada de materias primas	.....
2 Obreros para la atehción del horno rotatorio. A S/ 20 cada uno	..... 40
3 Obreros para la atención de los tan- ques de reacción y sedimentación	..... 45
2 Obreros para la atención del secador y de la chancadora de cake.	..... 30
3 Obreros para la atención del horno de mufla. A S/20 cada uno.	..... 60
3 Obreros para la atención del molino de bolas y tanques de sedimentación.	..... 45
8 Obreros para la atención de los fil- tro prensas en primer turno.	..... 120
8 Obreros para la atención de los fil- tro prensas en segundo turno. A S/ 20 cada uno.	..... 160
3 Obreros para la pulverización, pesada y depósito de litopón terminado.	..... 45
2 Obreros para la atención del tanque de lixiviación y filtro prensa.	..... 30
4 Obreros para la atención del horno de tostación en primer turno. A S/ 25 cada uno.	..... 100
4 Obreros para la atención del horno de tostación en segundo turno. A S/ 30 cada uno.	..... 120
4 Obreros para la atención del horno de tostación en tercer turno. A S/ 30 cada uno.	..... 120
1 Carpintero	..... 20
1 Mecánico	..... 25
1 Electricista	..... 25
Total Diario	..... 1085
Total Anual	..... 390600

Materias Primas

## Consumo Diario

Baritina : 4.135 Ton.met.A S/ 350 la Ton.	.....	S/ 1446
Carbón : 0.485 Ton.met. A S/ 1000 la Ton.	.....	485
Blenda : 2 Ton.met. A S/ 550 cada una	.....	1100
Acido sulfúrico : 1.25 Ton.met. A S/ 500	.....	625
Total Diario	.....	S/ 3656

Fuerza

## Consumo Diario

Motor de 15 HP para la chancadora de baritina Trabaja 2.17 horas al día.Consumirá :	.....	32.6 HP hr
Motor de 25 HP para el molino de bolas. Trabaja 2.17 horas al día.Consumirá :	.....	54.5 "
Motor de 8 HP para el molino de martillos Trabaja 5.4 horas al día.Consumirá :	.....	43.2 "
Motor de 5 HP para la mezcladora. Trabaja 2 horas al día.Consumirá :	.....	10.0, "
Motor de 5 HP para el ventilador de los quemadores del horno rotatorio. Trabaja 11 horas.Consumirá :	.....	55.0 "
Motor de 1 HP para el ventilador de la chimenea del horno rotatorio. Trabaja 6 horas al día. Consumirá :	.....	6.0 "
Motor de 4 HP para el ventilador del secador Trabaja 8 horas.Consumirá :	.....	32.0 "
Motor de 3 HP para la chancadora de cake. Trabaja 6 horas al día .Consumirá :	.....	18.0 "
Motor de 3 HP para el ventilador del quemador del horno de mufla. Trabaja 6 horas al día.Consumirá :	.....	18.0 "
Motores de 25 HP y 0.25 HP para el molino de bolas e hidroseparador. Trabajan 6 horas.Consumiran:	.....	151.5 "
Motor de 1/2 HP para el alimentador del molino Trabaja 6 horas al día.Consumirá :	.....	3.0 "

Motores de 15 HP y 1 HP para la unidad de desintegración del litopón. Trabajan 5 horas al día .Consumirán : .....	80	HP hora
Motor de 2 HP para la bomba que descarga el tanque de solución de SBA. Trabaja 2 horas al día.Consumirá: .....	1.0	"
Motor de 3 HP para la bomba que descarga los tanques de reacción. Trabaja 1.5 horas al día.Consumirá : .....	4.5	"
4 Motores de 1 HP para las bombas que alimentan los filtro prensas. Trabaja 3 horas cada una en el filtrado total del litopón.Consumirán .....	12.0	"
Motor de 1 HP para la bomba de ácido. Trabaja 20 minutos al día.Consumirá: .....	0.3	"
Motor de 1HP para la bomba que descarga el tanque de lixiviación. Trabaja 1 hora al día Consumirá : .....	1.0	"
Motor de 1 HP para el ventilador de la torre de absorción. Trabaja 24 horas al día.Consumirá : .....	24.0	"
Motor de 0.25 HP para la bomba de agua de la torre de absorción. Trabaja 24 horas al día.Consumirá : .....	6.0	"
Motor de 1.5 HP para el ventilador del quemador del horno de reverbero. Trbaja 24 horas al día.Como trabaja el Domingo otro ventilador igual,el consumo promedio de los otros 6 días de la semana será : .....	42.0	"
Motor de 10 HP pera el horno rotatorio Trabaja 6 horas al día.Consumirá: .....	60.0	"
Motor de 0.25 HP para la bomba de petróleo. Trabaja 24 horas al día.Como trabaja también el día Domingo,el consumo promedio de los otros 6 días de la semana será : .....		"
Consumo en los talleres de mecánica, carpintería,iluminación de la fábrica etc. ....	15.0	"
Consumo Total Diario :		677.6 HP hora

Consumo Total Diario = 505 Kw hora ( 677.6 HP hora )

Costo de la Fuerza

Para determinar el costo de la corriente eléctrica, voy a usar la nueva tarifa dada por las Empresas Eléctricas Asociadas, que es la siguiente para consumo mensual.

S/ 22 por Kw, por la máxima demanda de Kilowatts.

S/ 0.18 por Kw hora.

S/ 0.06 por KVAR-hr (Kilovolts Amperes Reactivos horas)

Para determinar la máxima demanda, sumo la potencia de todos los motores de la fábrica. La suma es 100 Kw

El costo por máxima demanda será:  $100 \times 22 = \text{S/ } 2200$

El consumo mensual en Kw-hr será :  $26 \times 505 = 13130 \text{ Kw-hr}$

El costo por el total será :  $13130 \times 0.18 = 2363$

Para hallar los KVAR-hr, multiplico el total de Kw-hr por la relación:  $\frac{\text{sen } f}{\text{cos } f}$

Siendo cos f el factor de potencia; que puedo tomarlo como 0.8 de promedio entre todos los motores.

$$\frac{\text{sen } f}{\text{cos } f} = \frac{0.6}{0.8} = 0.75$$

$13130 \times 0.75 = 9850 \text{ KVAR-hr}$

El costo por KVAR será :  $9850 \times 0.06 = \text{S/ } 591$

El costo total de la fuerza, por mes será :

$$2200 + 2363 + 591 = \text{S/ } 5154$$

El costo diario será :  $\text{S/ } 198$

CAPITAL DE INSTALACION

El capital de instalación será la suma de los costos del equipo, del terreno y de los edificios.

Por lo tanto será de :

$$1'126'917 + 86'700 + 265'694 = 1'479'311 \text{ soles}$$

COSTO ANUAL DE OPERACION

El costo anual de operación será la suma de los siguientes costos:

Mano de obra y supervisión.

Fuerza.

Combustible.

Amortización del equipo, terreno y edificios.

Reparaciones y mantenimiento.

Seguro Social de empleados y obreros.

Seguro del equipo y edificios.

Gastos generales.

Costo anual de mano de obra y supervisión

Salario anual de obreros	.....	S/ 390600
15 días de vacaciones de obreros	.....	16275
15 días de indemnización de obreros	.....	16275
Sueldo anual de empleados	.....	205200
1 mes de vacaciones de empleados	.....	17100
1 mes de indemnización de empleados	.....	17100
Total		S/ 662550



Costo anual de materias primas

La fábrica va a trabajar 285 días al año, considerándose los 15 días restantes para arreglar los hornos.

El consumo diario de materias primas es por un valor de S/ 3656

El consumo anual será :

$$3656 \times 285 = \text{S/ } 1'041'960$$

Costo anual de combustible

El consumo diario es por valor de S/ 279, valor que sale del producto de 558 gl a 0.5 soles el gl.

El costo anual del combustible será:

$$279 \times 285 = \text{S/ } 79'515$$

Costo anual de fuerza

El costo diario es de S/ 198

El costo anual será :

$$198 \times 285 = \text{S/ } 56'430$$

Amortización

La amortización anual será 10 % del capital de instalación:

Será por lo tanto S/ 147'931

Reparaciones y mantenimiento

Se considera anualmente 3 % del costo del equipo y edificios.

$$0.03 \times 1'392'611 = \text{S/ } 41'778$$

Seguro del equipo y edificios

$$0.02 \times 1'392'611 = \text{S/ } 27'852$$

Seguro Social de empleados

0.03 x 205200 S/ 6156

Seguro Social de obreros

0.06 x 390600 S/ 23436

Gastos generales

En este reglón incluyo una serie de gastos, como agua, polvo de zinc, pirolusita, reactivos de laboratorio, material de oficina, arbitrios municipales, etc. que solo se pueden saber con precisión cuando la fábrica esté en funcionamiento.

Voy a considerar un valor de S/ 60000 anuales.

El Costo Anual de Operación será:

Supervisión y mano de obra.	.....	S/ 662550
Materias primas.	.....	1'041960
Fuerza.	.....	56430
Combustible.	.....	79515
Amortización.	.....	147931
Reparaciones.	.....	41778
Seguro de equipo.	.....	27852
Seguro Social de empleados.	.....	6156
Seguro Social de obreros.	.....	23436
Gastos generales.	.....	60000
Total		S/ 2'147608

### CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo será la suma del capital de instalación con el costo de 3 meses de operación.

El costo de 3 meses de operación será :

$$\frac{2'147'608}{12} \times 3 = 536'902$$

$$\text{Capital de trabajo} = 1'479'311 + 536'902 = \text{S/ } 2'016'213$$

### ENTRADA BRUTA

La fábrica va a trabajar 285 días al año. La producción diaria se calculó en 5000 Kg; pero voy a considerar una merma en la producción de 50 Kg al día, por efecto de mala sedimentación y otras causas en el proceso de fabricación.

La producción anual será :

$$285 \times 4950 = 1'410'750 \text{ Kg}$$

Considerando un precio de venta de S/ 2,0 por Kg de litopón, la entrada bruta será :

$$1'410'750 \times 2 = \text{S/ } 2'821'500$$

### ENTRADA NETA

La entrada neta será la diferencia entre la entrada bruta y el costo anual de operación.

Por lo tanto la entrada neta será:

$$2'821'500 - 2'147'608 = \text{S/ } 673'892$$

Esta cantidad representa un 33.4 % del capital de trabajo

COSTO POR KILOGRAMO DE LITOPON

El costo será :

Costo anual de operación  
Producción anual

$$\frac{2'147608}{1'410750} = \text{S/ } 1.52$$

Ganancia por Kg de litopón :

$$2.00 - 1.52 = \text{S/ } 0.48$$

Esta ganancia representa el 31.5 % del precio de costo.

F I N

BIBLIOGRAFIA

- Chemical Engineers' Handbook .- Perry  
Industrial Heat Transfer .- Schack  
Portland Cement .- Meade  
Industrial Furnaces .- Trinks  
Elements of Chemical Engineering .- Badger and Mac Cabe  
Unit Operations .- Brown  
Petroleum Refinery Engineering .- Nelson  
Metalurgy of Silver .- Egleston  
Manufacture of Sulfuric Acid .- Miles  
Handbook of Mineral Dressing .- Taggart  
Encyclopedia of Chemical Technology .- Kark and Othmer  
Gran Enciclopedia de Química Industrial .- Ullman  
Enciclopedia de Química Industrial .- Sthomann  
Chemical Process Principless .- Hougen and Watson  
Chemical Process Industries .- Sherve  
Diatomaceous Earth .- Calvert  
Mechanical Engineers' Handbook .- Marks  
Mechanical Engineers' Handbook .- Kent  
Metallurgy of Zinc and Cadmiun .- Hoffman  
Dictionary of Applied Chemistry .- Thorpe  
Air conditioning and Engineering .- American Blower Corporation  
Chemical Machinery .- Riegel  
Chemical Engineering Plant Design .- Vilbrandt  
Fuels and their Combustion .- Haslam  
Métodos de Análisis Químicos Industriales .- Berl, Lunge y D'Ans  
Industrial Management .- Knowles and Thomson

El equipo standard ha sido cotizado por las siguientes firmas comerciales :

COSMANA S.A.

Enrique Ferreyros

Peruvian Trading

Neisser y Compañía

International Machinery

El horno rotatorio y demás instalaciones metálicas han sido cotizadas por la Factoría Bedoya.

Los tanques y el resto de instalaciones de madera han sido cotizadas por el señor Javier Beltrán.

Las construcciones han sido cotizadas por el Ingeniero Miguel Pacheco.

*Lima, 22 de octubre de 1951.*

*Pase a la Comisión formada por los señores Profesores Germán E. Pflücker, Alfonso Montero Muñe y Alvaro Masías D., para que revisen este proyecto.*

Introducción	.....	Pg	1
Propiedades	.....		2
Especificaciones	.....		5
Materias primas	.....		7
Ubicación de la planta	.....		10
Capacidad de la planta	.....		12
Flow sheet y descripción de la fábrica	...		14
Descripción del horno rotatorio	.....		16
Descripción del horno de reverbero	.....		21
Descripción del horno de mufla	.....		26
Cálculo del horno rotatorio	.....		29
Tanque de solución de SBA	.....		51
Tanque de reacción	.....		52
Cálculos de sedimentación	.....		53
Secado	.....		58
Cálculo del recuperador de calor	.....		63
Cálculo del horno de mufla	.....		73
Cálculo del horno de reverbero	.....		86
Cálculo de lixiviación	.....		96
Selección de quemadores	.....		100
Equipo de molienda	.....		104
Costo del equipo	.....		106
Costo de terreno y edificios	.....		114
Consumo de fuerza	.....		117
Capital de instalación	.....		120
Costo anual de operación I20	.....		120
Capital de trabajo	.....		123
Ganancia	.....		124
Bibliografía	.....		125