

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAL

TESIS DE GRADO

PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO E INDUSTRIAL

**Anteproyecto de Planta Industrial para la  
Fabricación de Litopon Normal**

**Autor: FEDERICO R. PASCO-FONT ALLISON**

**PROMOCION 1957**

• UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE INGENIERIA  
QUIMICA E INDUSTRIAL - LIMA, PERU.

TESIS DE GRADO

Para optar el Título de INGENIERO QUIMICO E INDUSTRIAL

"ANTEPROYECTO DE PLANTA INDUSTRIAL PARA LA FABRICACION DE  
LITOPON NORMAL".

Autor: Federico R. Pascó-Font Allison (Promoción 1957).

Fecha: Noviembre de 1958.

## PROLOGO.-

Con fecha 20 de Enero de 1958 presenté a la consideración del Decanato una carta-solicitud, de permiso, con el fin de obtener la aprobación del tema de tesis que yo proponía. Anteriormente había ya cumplido con el pre-requisito de presentar, acompañada de una carta al Señor Decano, el original y dos copias de mi tesis de bachiller, titulada: "Relación del trabajo práctico realizado en la Refinería de la I.P.Co., en Talara". Por disposición del Sr. Decano se nombró un jurado compuesto por los ingenieros Masías, Machiavello y Ortiz, que aprobaron dicho trabajo en forma unánime con la calificación verbal de "muy bueno".

La carta-solicitud a que primeramente se hizo mención fué acompañada por un sumario con datos técnico-económicos, en la forma que especifica el Reglamento de Tesis de la Facultad. Como quiera que por estudios posteriores se determinase aumentar la cifra de producción en una proporción de consideración, con el fin de que el proyecto constituyese un negocio efectivo, aunque hipotético en la práctica, por razones más complejas que escapen a las consideraciones del estudio aquí desarrollado; fuí personalmente a hablar con el Sr. Decano, y obtuve su venia para efectuar las modificaciones relacionadas con el cambio de la cifra de capacidad de producción de la fábrica.

Hasta aquí he mencionado todo lo relacionado a los antecedentes y trámites, que culminarán con la aprobación del presente trabajo, salvo dificultades que pudieran surgir de errores que no hubieren sido descubiertos y corregidos a su debido tiempo. Es posible que existan aún algunos errores; pero es asimismo improbable la existencia de un error de significación, pues he tomado todo un mes en hacer tres revisiones minuciosas del capítulo de cálculos técnicos.

La tesis la he dividido en seis capítulos, a saber:

Capítulo I: Generalidades sobre el litopón.

Capítulo II: Mercado y Capacidad de producción.

Capítulo III: Materias Primas y Ubicación de la fábrica.

Capítulo IV: Procedimientos de fabricación.

Capítulo V: Cálculos Técnicos.

Capítulo VI: Asuntos Técnico-Económicos.

En el primer capítulo se trata de la sinonimia, historia, propiedades y ventajas, marcas y sellos, variedades y usos del litopón.

En el segundo capítulo se justifica una cifra de

producción de acuerdo a un mercado potencial que comprende, aparte del Perú, a Chile, Colombia, Bolivia y Ecuador.

El tercer capítulo es una relación descriptiva de propiedades de las diversas materias primas a ser empleadas; y en su parte final tiene un estudio de selección de ubicación de acuerdo a las normas de Ingeniería Industrial citadas en el Chemical Business Handbook de Perry, y en el Chemical Engineering Plant Design de Vilbrant.

En el cuarto capítulo además de una somera explicación de los procedimientos de fabricación del litopón se incluyen tópicos sobre control de procesos y de calidad del producto; trabajo realizado en el laboratorio y análisis probable del producto acabado; y sugerencias sobre posibles utilizaciones de los residuos industriales.

El capítulo de cálculos técnicos es el que más acápites tiene. De primera intención hay una sección de cálculos generales en la que se analiza paso por paso cada operación y cada proceso, que integra el complicado método de fabricación del litopón, hasta su más último detalle; comprendiendo, inclusive, el cálculo y la especificación del equipo requerido. A continuación viene una relación en detalle, pero concisa, del equipo ya calculado y especificado; y posteriormente una relación general y agudamente es-cueta del equipo e instalaciones requerido por la fábrica. Se incluyen también en este capítulo los sumarios de balances de materias y de calor; el balance general de energía; la distribución de mano de obra; los cuadros de distribución del tiempo; distribución de equipo; problemas de construcción general y otras minucias.

El sexto capítulo no pasa de ser una lista de precios, conseguidos de diversas fuentes; y al final se tiene la determinación del presupuesto de trabajo, capital total de inversión, utilidades y retorno a la inversión, incluso en el caso de financiar la fábrica mediante la obtención de un empréstito.

La tesis así enfocada y desarrollada alcanzó una extensión de 205 páginas, contadas de la primera del primer capítulo a la última del sexto. Como esta extensión es algo considerable y puede romper la visión de conjunto del problema en cuestión, se optó por hacer un resumen total de la tesis en muy pocas líneas. Dicho resumen es muy similar a los informes técnicos empleados en la práctica profesional. El resumen de la tesis puede encontrarse a continuación de este prólogo.

Antes de concluir me queda expresar que muy a pesar mío no he podido desarrollar los cálculos de los procesos sobre una base de termodinámica química por no haber encontrado valores de entropías ni de energías de formación para el sulfuro de bario, en International Critical Tables, ni en la revista técnica Rock Products. En lo relacionado al proceso de tostación de los concentrados de blenda no es mayormente necesario un estudio termodinámico

ya que no se trata de una tostación sulfatante, sino mas bien de una tostación parcial o desulfuración.

Por último recomiendo leer primero el resumen y recurrir luego a cada capítulo en busca de explicación; ya que el resumen contiene las conclusiones de la tesis en rasgos generales.

**P.F.F. 1958.**

## RESUMEN

OBJETIVO: Facilitar la percepción de una visión general de conjunto de la tesis por la exposición de sus conclusiones.

### CONCLUSIONES:

1- Se justifica un proyecto de fabricación de litopón normal (30% de ZnS), en una fábrica cuya capacidad de producción es de 2,600 toneladas métricas anuales. Esta cifra cubrirá la demanda de pigmento de un mercado potencial internacional que comprenderá a Perú, Chile, Colombia, Bolivia y Ecuador.

2- El proyecto ofrece múltiples ventajas al comercio, la industria y la colectividad nacional, aunque en pequeña escala.

3- El proyecto requiere de 6,540,757 soles de capital total de inversión y la utilidad bruta anual se ha calculado en 2,476,292 soles, siempre y cuando se venda el kilo de litopón a 4.00 soles. La utilidad líquida que se obtiene, deduciendo los impuestos establecidos por la Ley 7904, de la utilidad bruta, asciende a la suma de 1,937,308 soles y el porcentaje de retorno a la inversión es del 29.80%.

4- Las posibilidades de ampliación de la fábrica son dos:

a) Aumento de la cifra de producción mediante un reacondicionamiento en el horno de reverbero, los secadores y el circuito de molienda húmeda.

b) Fabricación de productos como blanco fijo, sales de bario, etc., utilizando los residuos industriales de la fábrica.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES SOBRE EL LITOPON

SUMARIO.- Definición e Historia; Marcas y sellos comerciales;  
Propiedades; Aplicaciones.



## A.- Definición y breve historia

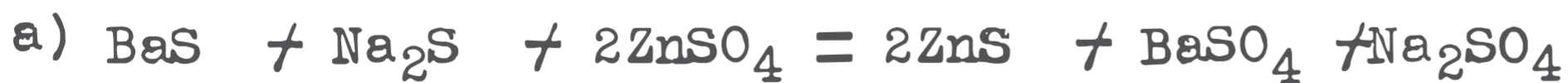
El litopón es un pigmento blanco, compuesto, preparado por coprecipitación del sulfuro de zinc y del sulfato de bario; luego de una reacción de doble descomposición entre lejía de sulfuro de bario, obtenida de la baritina, y solución de sulfato de zinc.

La solución de sulfato es producida por reacción del ácido sulfúrico sobre concentrados desulfurados de zinc, óxido de zinc, o sobre chatarra del mismo metal. Cuando se hacen reaccionar volúmenes iguales de soluciones equinormales se obtendrá el llamado litopón normal u ordinario, según la ecuación:



Teóricamente el producto así obtenido contiene un 29.5% de sulfuro de zinc por peso. En el mercado la composición del litopón normal fluctúa entre un 28 a 30% de sulfuro de zinc, y un 72 a 70% de sulfato de bario. Con la precipitación no se produce ningún pigmento utilizable, necesitándose un procedimiento bastante complicado para poder preparar el litopón con todas sus valiosas propiedades.

Hay otras variedades de litopón con porcentajes de sulfuro de zinc superiores al 29.5%. Estas se obtienen trabajando con las siguientes ecuaciones:



Aunque otros métodos sean teóricamente posibles, no se han aplicado en gran escala porque o resultan anti económicos o presentan dificultades de realización.

Hay también variedades de litopón de baja calidad hasta con un 15% de ZnS. Para la obtención de estos litopones se reemplaza, antes de la precipitación, parte del sulfato de zinc por sulfato de sodio. Además se encuentran en el mercado de pigmentos diversas variedades bajo la denominación de sulfopones, sulfoponas, o litopones cálcicos. Estos son obtenidos de manera similar al litopón normal, pero en la reacción de obtención el sulfuro cálcico reemplaza al de bario:



El litopón puede decirse que nace en los albores de la era de la investigación científica organizada. Su descubrimiento se atribuye al químico francés De Douhet. Aunque ya en 1847 se conocia la reacción de doble descomposición entre las lejías de sulfuro de bario y sulfato de zinc, fué De Douhet en 1853, quién descubrió, en forma accidental, que el producto de dicha reacción tenía propiedades que lo hacían adaptable para su utilización como pigmento en pinturas. Dieciocho años más tarde Leger patentó el pigmento (Patente Belga 28834-1871) al que designa con el nombre de litopón. Esta patente es pues el documento que prueba que fué Leger y no Boulez (1877), como afirman algunos, el que bautizó al producto con el nombre comercial que actualmente posee. Posteriormente J.B. Orr, de Glasgow, en 1874, perfecciona y patenta el pigmento (Patente Británica 517-1874). Ya hacia el año 1900 el litopón había llegado a ser un producto de real importancia

comercial desplazando a otros pigmentos blancos a un plano secundario. En 1909 Farbenfabriken Bayer inicia su producción en gran escala, en su fábrica de Elberfeld. Poco a poco esta poderosa firma industrial va incrementando su producción de litopón a la par que logra progresivos mejoramientos en la calidad del pigmento, gracias a la tesonera labor de investigación realizada en sus laboratorios. Es así que hoy día ha llegado a ser la firma productora más importante del mundo, habiendo superado a la Lithopone Kontor Inc. (Colonia), que antes de la guerra mundial tenía 12 fábricas en Alemania (Chemie Lexicon de Hermann Römpp, 1945).

En un principio el pigmento tenía un tamaño de partículas indebido y poseía tendencia a volverse temporalmente gris por acción de la luz solar; pero sucesivos perfeccionamientos, a partir de 1880, fueron reduciendo estos inconvenientes y hoy puede decirse que ya se han eliminado exitosamente gracias a la labor de paciente investigación realizada por más de setenta años tanto en Europa como en los E.E.U.U.

Un hecho que tuvo trascendental importancia en el desarrollo de la industria del litopón fué la patente del horno rotatorio. En 1924 los ingenieros de Bayer instalaron el primer horno rotatorio para la producción en gran escala.

En 1920 aparecen en el mercado pigmentos blancos de mayor poder de cubrimiento y poseedores además de otras ventajas, sobre el litopón, para ciertas aplicaciones específicas. Entre estos pigmentos hay que citar al dióxido de titanio, cuya demanda ha ido creciendo año a año en una progresión fantástica. La revista Ingeniería Química e Industrias (Organo oficial del Instituto Peruano de Ingenieros Químicos) en su volumen VII # 1, pág 43, Ene-

ro-Marzo 1958; ilustra este hecho con los siguientes datos estadísticos de producción mundial de dióxido de titanio:

Años	Toneladas métricas
1920 .....	1,000
1940 .....	200,000
1957 .....	800,000

Lo más probable es que en años venideros estas cifras sigan aumentando salvo que una guerra mundial o un vasto plan de exploraciones interplanetarias requieran mayores cantidades de titanio para aleaciones estructurales. También es posible que la creciente demanda del metal frene la producción de pigmento, sin llegar a lo extremos antes mencionados, ya que el titanio ofrece propiedades excepcionales para su empleo en obras de ingeniería: tiene la resistencia mecánica del acero con sólo un 58% de su peso y una resistencia a la corrosión muy similar a la del acero inoxidable. Actualmente hay en los E.E.U.U. 9 grandes firmas productoras de titanio metálico y en esponja, que en 1956 pasaron las 13,000 toneladas y en 1957 se estima que han producido 25,000 toneladas de metal, o sea un incremento de casi el 100% en un sólo año. El mayor consumo es para la fabricación de productos militares. Casi todos los aviones de tipo avanzado, motores a reacción y proyectiles dirigidos contienen importantes cantidades de este metal, especialmente en las zonas sometidas a un calor intenso. (Extractado de un artículo de la revista El Exportador Americano INDUSTRIAL Vol. 161 No. 2, pág. 38, Agosto 1957).

Con todo es importante hacer notar que el incremento en la producción no afecta al desarrollo de la industria del litopón y de otros pigmentos blancos como el óxido de zinc, albayalde, etc,

cuya demanda también va creciendo. Una prueba concluyente a esta afirmación la constituye el hecho de que Farbenfabriken Bayer en 1957 instaló una fábrica para la producción anual de 50,000 toneladas métricas de dióxido de titanio anatase a un costo de 60 millones de DM (Marcos alemanes) y en Agosto de 1958 comenzó a producir dióxido de titanio tipo rutilo; mientras que en los laboratorios Bayer de Leverkusen se obtenía, no hace mucho tiempo, un nuevo tipo de litopón, que acaba de salir al mercado con la marca D. Aparte de esto la Bayer ha efectuado ampliaciones en varias de sus instalaciones destinadas a la fabricación de litopón.

Sin embargo en los E.E.U.U. firmas como du Pont han preferido dedicarse a la fabricación del dióxido de titanio en sus diversas formas comerciales, y han cerrado fábricas de litopón, haciendo bajar la producción nacional de 151,000 toneladas cortas en 1948 a 54,000 en 1954. Paralelamente bajaron las ventas desde un máximo de 165,000 toneladas en 1947 a 105,650 toneladas en 1950. El precio unitario de 105 dólares la tonelada en 1947, subió a 124 en 1950. (Referencias del Min. Yearbooks, reproducidas por Perry en el Chemical Business Handbook, 6-84; y por Kirk & Othmer en la Encyclopediae of Chemical Technology).

En otros países europeos, productores de litopón, como Holanda, Italia, Bélgica, Francia, Inglaterra, Checoslovaquia, España, Noruega y Yugoslavia, las perspectivas son análogas a las que se presentan en Alemania, aunque no tan brillantes.

La demanda de litopón en el mercado internacional exige a los productores cumplir, como mínimo, con las especificaciones que determina el A.S.T.M. en sus designaciones D-208-1926, y D-477-1941; y con las especificaciones del N.B.S. reproducidas en

Paint Manual de Wlaker.

## B.- Marcas y sellos comerciales

En el mercado de litopón se entiende como marca una clase de pigmento que tiene determinadas aplicaciones y propiedades independientemente de su porcentaje de sulfuro de zinc y de la blancura de su color. Cada fabricante tiene su propia nomenclatura de marcas comerciales. Son mas bien los sellos los que están relacionados directamente a las propiedades que determinan el precio del pigmento, o sean; cantidad de sulfuro de zinc y blancura de color. Hay también varias nomenclaturas de sellos comerciales, de éstas las más importantes son la alemana y la italiana. La nomenclatura alemana establecida por la Lithopone Kontor y aceptada por Bayer y Schatlewen en Alemania, Mastrich en Holanda, Unquinesa (España), y otros, es la siguiente:

Sello de plata,	contiene	60%	de ZnS.
Sello de bronce	,,	50%	,,
Sello verde	,,	40%	,,
Sello lila	,,	35%	,,
Sello rojo	,,	30%	,,
Sello amarillo	,,	15%	,,

La nomenclatura italiana usada por la Societá Montecatini (Brescia) se da a continuación:

Sello verde,	contiene	33% ó más	de ZnS.
Sello rosa	,,	30%	de ZnS.
Sello blanco	,,	26%	,,
Sello azul	,,	22%	,,
Sello amarillo	,,	15%	,,

Nota.-

Nota.- Para ambos sistemas se admite una variación de la calidad característica hasta del 1% de ZnS.

En cuanto a lo que se relaciona a las marcas, Bayer, el mayor productor de litopón, tiene disponibles a la venta las siguientes:

Marcas estandarizadas: "R" , "Ö"

Marcas especiales: Lackware, WIR, WE, Lithoxin.

Marca universal: "D" (nuevo tipo).

#### Características de las marcas estandarizadas

La marca "R" es un litopón "puramente precipitado", componiéndose únicamente de sulfuro de zinc precipitado y calcinado, y sulfato de bario precipitado y calcinado, estando exento de sulfato de bario natural (barita cristalina). Es de dispersión uniforme es decir que todas sus partículas son casi del mismo tamaño que oscila alrededor de  $1/2$  micrón =  $5/10,000$  mm.

Aun cuando se aprovechan las ventajas de la marca "R" en la Industria de todas clases, los pintores la emplean también con preferencia para sus trabajos.

La marca "R" se suministra con los sellos siguientes:

Sello rojo	30%
Sello verde	40%
Sello bronce	50%
Sello plata	60%

Nota.- Este producto no es indicado para barnices y esmaltes ácidos, debido al peligro de espesamiento.

La marca "Ö" es igual, en su composición química, al tipo "R" a excepción de que una pequeña parte del sulfato de bario, precipitado y calcinado, está sustituido por barita natural y cristalina. Es, en contraposición al tipo "R", un pigmento de dispersión no

UNIFORME, es decir que se compone de partículas de tamaño diferente, consiguiéndose de este modo mezclarlo más fácilmente con aglutinantes aceitosos. Las partículas de barita machacan y hacen desaparecer los pequeños grumos que se encuentran todavía en la pasta, con lo que se tiene así una pintura perfectamente uniforme.

La fácil humectación de la marca "O" con aglutinantes aceitosos radica además en una cierta alcalinidad.

La marca "Ö" necesita menos aceite que la marca "R". La marca "O" hace economizar aceite, siendo además compatible con éste, cualidades estas tan apreciadas por el pintor.

La marca "Ö" se suministra con los sellos siguientes:

Sello rojo	30%
Sello verde	40%

La marca "Ö" está especialmente indicada para la preparación industrial de pastas al aceite.

La marca "O" no es indicada para la fabricación de esmaltes, porque existe el peligro de la formación de sedimentos.

#### Características de las marcas especiales

La marca para esmaltes.- Si, en la fabricación de esmaltes, se incorpora una de las marcas estandarizadas de litopón a un aglutinante ácido, puede producirse espesamiento del esmalte. Este fenómeno es provocado por trazas de óxido de zinc, óxido de magnesio o álcalis contenidos en el litopón normal.

La marca especial para esmaltes (Lackware) no presenta este inconveniente debido a un tratamiento especial a que se somete, de modo que no se produce espesamiento incluso de esmaltes al alcohol muy ácidos.



En el caso de que se emplee en la fabricación de esmaltes un aglutinante del que no se conoce exactamente la acidez, es mejor, por motivos de seguridad, tomar la marca especial para esmaltes, disponible en los siguientes sellos:

Sello rojo            30%

Sello verde           40%

Sello plata            60%

Nota.- Al emplear la marca especial para esmaltes no se debe añadir nunca blanco de zinc u óxido de zinc.

La marca WIR está especialmente preparada para la impresión de papel pintado y la estampación de tejidos. El litopón WIR es marcadamente compatible con el agua, es decir muy fácil y rápidamente humectable. Además se puede mezclar, con una determinada cantidad de agua, mucho más de la marca WIR que de las marcas "R" y "Ö".

Por medio de esta elevada concentración del pigmento se consigue un poder cubriente especialmente bueno de la pintura acuosa, que conserva no obstante su consistencia fluída.

El litopón WIR se suministra en las siguientes marcas de sello:

Sello rojo            30%

Sello plata            60%

Nota.- Este producto no es indicado para ser empleado en aglutinantes aceitosos.

La marca WE interesa particularmente a los fabricantes de pinturas de emulsión pigmentadas, listas para el uso. Mientras estas pinturas contengan un exceso de aglutinante en relación al pigmento, tenderán a sedimentarse ligeramente si se las deja en reposo por un tiempo prolongado.

En reposo el litopón WE provoca una ligera gelatinización (tixotropia) de la pintura, impidiendo así que las partículas de pigmento se sedimenten. Después de remover a fondo, la pintura se vuelve de nuevo fluida. Por medio del litopón WE se evita que se deslicen las pinturas de superficies verticales. El litopón WE se suministra en las marcas de sello:

Sello rojo            30%

Sello plata            60%

La marca Lithoxin.- En los esmaltes la formación de sedimentos provocada por las partículas del pigmento, es muy molesta. Este fenómeno inconveniente se produce muchas veces sobre todo al efectuar el barnizado de fondo a base de aceite. Tal fenómeno se evita con seguridad empleando la marca especial Lithoxin, que posee un excelente poder de suspensión, no obstante, los esmaltes fabricados con él no dejan huella de pincel.

El Lithoxin, en mezcla con blanco de zinc, produce esmaltes al standoil de alto brillo, excelente corrimiento y buen secado. Su poder cubriente es sorprendente.

Aunque el Lithoxin ha sido creado como pigmento especial para la fabricación de esmaltes a base de aceite, se puede también emplear con éxito en esmaltes nitrocelulósicos, a base de resinas sintéticas y de caucho clorado, exentos de sedimentos.

El Lithoxin puede servirse en las marcas:

Lithoxin Standard

(El mismo poder cubriente que sello rojo 30% ZnS)

Lithoxin Extra

(El mismo poder cubriente que sello plata 60% ZnS)

El Lithoxin no es indicado para:

a) Esmaltes ácidos. Para que el producto de distribución

pueda ejercer su acción el Lithoxin contiene 2.5% aproximadamente de blanco de zinc. Por esta razón se producirían espesamientos en esmaltes ácidos.

b) Aglutinantes acuosos, ya que el Lithoxin no es compatible con el agua.

Nota.- El Lithoxin no se puede mezclar a voluntad con otros pigmentos (excepción hecha del blanco de zinc).

El litopón "D" es un auténtico tipo universal, ya que reúne en sí las propiedades de las marcas "R", "Ö", "L", Lithoxin y WIR. El litopón "D" contiene cantidades extremadamente reducidas de sal y ZnO. Se dispersa más fácilmente que la variedad "R". La reactividad con los ligantes es menor que la de variedad "L", y el consumo en dichos productos es tan reducido como en el caso de la variedad "O". La capacidad de suspensión es superior a la de la marca Lithoxin, y la excelente humectación en dispersiones acuosas hace también posible su empleo en sustitución de la variedad WIR.

Mientras que en las marcas de litopón conocidas hasta ahora la cantidad necesaria de ligante aumentaba fuertemente en las marcas-sello de elevado porcentaje, la diferencia en el caso de la variedad "D" es escasa.

El poder de dispersión notablemente mayor con respecto a otros tipos, tiene por consecuencia una rápida humectación y una buena repartición en el ligante; con ello se consigue reducir considerablemente las cantidades de energía y tiempo que hasta ahora venían siendo necesarias.

Gracias al grano muy fino se logra una mayor capacidad de suspensión y un mayor brillo de las películas de esmalte. Otra ventaja de la mencionada finura de grano consiste en el mayor poder de aclaramiento o el mayor poder cubriente en todos los ligamen

tes. Ello significa una mayor economía por el ahorro de pigmento. Las excelentes condiciones de extensibilidad del litopón "D" en los aglutinantes, hacen innecesario muchas veces el empleo de productos vehículo. Ni siquiera las trazas de humedad tienen efecto perjudicial.

Por último conviene mencionar que tanto el almacenaje como las disposiciones de compra quedan notablemente simplificadas, ya que, en lugar de las diferentes variedades "R", "Ö", "L", Lithoxin y WIR, sólo se necesita el litopón "D".

El litopón "D" se suministra en las siguientes cualidades:

Sello rojo	al	30%
Sello verde	al	40%
Sello plata	al	60%

El litopón también se encuentra en el mercado en variedades especiales constituidas por mezclas del pigmento con óxidos, principalmente  $TiO_2$  y  $ZnO$ . Las mezclas de dióxido de titanio y litopón reciben el nombre de litopones titanados. La marca de mayor uso posee la siguiente composición por peso:

$TiO_2$	.....	15%
$ZnS$	.....	25%
$BaSO_4$	.....	60%
		100%

El contenido de  $ZnO$  superior al 2% que poseen algunos litopones puede ser debido a fallas en el proceso de calcinación. En el mercado se encuentran litopones hasta con un 12% de  $ZnO$ . Muchas veces productos de esta clase son debidos a mezclas. Estos pigmentos no son considerados de buena calidad; sin embargo tienen aplicación.

### C.- Sinonimia

A pesar de que hoy en día el nombre "litopón" es aceptado y usado en la generalidad de los casos, hay muchos otros nombres, para este pigmento, en la literatura técnica, muchos de ellos ya en desuso. He aquí la relación:

- Blanco de cincolita
- Blanco de Charlton
- Blanco esmalte
- Blanco Griffith
- Blanco Knight
- Blanco inglés
- Blanco de Orr
- Blanco mineral (1)
- Blanco de zinc patente
- Cincolita
- Litoscopio
- Sulfuro blanco
- Sulfuro blanco de zinc

(1).- Esta denominación se presta a confusiones ya que se utiliza indistintamente tanto para el litopón, como para el pigmento de ZnS puro, que es uno de los sustitutos del litopón.

### D.- Propiedades del litopón

De las designaciones del A.S.T.M. y de especificaciones de algunos autores, como Ullmann y Walker, se confeccionó el siguiente cuadro de propiedades para el litopón normal o blanco de cinco lita, en forma de pigmento seco:

	% Máximo	% Mínimo
Residuo total retenido en malla # 325	1.00	-
ZnS	32.00	26.00
ZnO	1.00 - 2.00	-
Material soluble en agua	0.80	-
Contenido de humedad	0.20 - 0.30	
Sulfato de bario	72.00	68.00

Densidad aproximada: 4.30

Indice de resistencia de color: 280 (NBS-USA).

Mezclas con aceite de linaza.- Condiciones mínimas:

Esmalte ..... 0.16 Kg aceite/Kg litopón.

Pintura ..... 0.43 Kg aceite/Kg litopón.

Nota.- Esta pintura tiene a 15.5°C un peso específico de 35.82 libras por galón (Circular 667 - Sept. 1943. National Paint, Varnish & Lacquer Asso. - 18).

Aparte de este cuadro se hará a continuación una breve discusión de algunas propiedades características del pigmento bajo estudio.

La propiedad más importante de cualquier pigmento es el llamado poder o potencia de cubrimiento (hiding power). Este se define como el poder o aptitud de una pintura, o material de pintura, para oscurecer la superficie sobre la que se aplica. En Especificaciones Federales del NBS-USA esta propiedad es expresada en términos de pies cuadrados por galón americano. El poder de cubrimiento de un pigmento es proporcional a su índice de refracción, pero también depende del índice de refracción de los productos formadores de película (aceites) y otros constituyentes de las pintu-

ras (rellenos, secantes, plastificantes). Por tanto cuando se dan valores de poder de cubrimiento de un pigmento se necesita dar tan bién la formulación de la pintura de la que es componente. Conviene hacer notar que el tamaño de partícula y tipo de distribución (granulometría) influyen en la eficiencia óptica del pigmento y su poder de cubrimiento. Para el ZnS en el litopón el tamaño óptimo de partícula es aproximadamente 0.25 micron.

Diversos métodos han sido propuestos para la determinación del poder de cubrimiento. Los más importantes son los que aparecen en la sección Procedimientos del A.S.T.M., debidos a R.L. Hallet; G.S. Haslam & D.L. Gamble.

El Report NBS TIBM 30 (1936) que no pudo ser conseguido del U.S. Government Printing Office, por haberse agotado, da tablas con valores, experimentalmente determinados, de poderes de cubrimiento de pigmentos blancos, por el método de Jacobson & Reynolds, citado en el Ind. & Eng., Chem, Anal, Ed, 6, 393 (1934), del que Joseph Mattiello hace mención en su obra "Protective and Decorative Paintings, Varnishes and Lacquers".

Hablando de litopón no se puede pasar por alto su sensibilidad a la luz. La causa de la falta de estabilidad a la luz es discutida todavía y su conocimiento es defectuoso. Varias son las hipótesis que han surgido tratando de explicar este fenómeno. Se atribuye a los iones de zinc, al contenido de agua del sulfuro de zinc, óxido de zinc, etc. Es un hecho que el sulfuro de zinc es afectado por la acción de la luz, aunque en pequeña escala, como asimismo una mezcla de sulfuro de zinc con sulfato de cal. Steinau tiene la opinión de que es debido a la presencia de pequeñas cantiti

dades de cloruro de zinc que se introducen en la depuración de las soluciones de sulfato de zinc o en el proceso de la fabricación, pues el litopón estable a la luz o el mismo sulfuro de zinc se hacen sensibles tratándolos con indicios de cloruro de zinc. En el Chemical Process Industries de Shreve se cita una hipótesis que supone que el color gris se debe a trazas de zinc metálico, que surgen por la acción fotoquímica de los rayos ultravioletas de la luz solar, restableciéndose por la noche. Hay numerosas patentes que tratan de remediar este inconveniente (ver en tomo III de la Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann, pág 560 y siguientes). Steinau propone excluir por completo el cloro, con lo que se obtendría un producto irreprochable. Este método se desecha porque es indudable que algo de cloruro mejora las propiedades físicas del litopón. Un segundo procedimiento debido a Ostwald, que da con seguridad litopón estable a la luz consiste en la exclusión completa del aire durante la incandescencia, efectuándola en un gas indiferente o reductor. Pero en gran escala esto resultaría muy caro y ofrecería dificultades de orden industrial. En Norte América y en Italia se ha vencido esta original sensibilidad a la luz agregando cloruro de calcio o ultramar. Ultimamente purificando la materia prima y añadiendo algunos agentes como los politionatos, se han obtenido resultados muy satisfactorios.

Con relación a otros pigmentos blancos el litopón tiene las siguientes ventajas:

- a) Precio razonable.
- b) Carece de toxicidad.
- c) Color blanco brillante.
- d) Extremada finura.



e) Puede ser formulado con una gran variedad de vehículos.

A continuación se da una tabla comparativa con valores numéricos de ciertas propiedades, tales como: gravedad específica, peso específico (pintura a 15.5°C), índice de refracción, resistencia de color (tinting strength), y costo por 100 pies cuadrados de superficie pintada, para diferentes pigmentos blancos.

PIGMENTO	G.E.	P.E. lb/gal	I.R.	R.C.	Rel. de Costos
Albayalde	6.75	56.23	2.014	140	1.93
Albayalde sublimado	6.40	53.31	-	240	2.47
BaSO <sub>4</sub> (barita)	4.45	37.07	1.636	-	-
BaSO <sub>4</sub> (blanco fijo)	4.36	36.32	1.640	-	-
Dióxido de titanio Anatase A	3.88	32.32	2.550	1275	1.08
Dióxido de titanio Rutilo R	4.20	35.00	-	1600	-
Litopón (30%)	4.30	35.82	2.046	280	1.00
Litopón (60%)	4.16	-	2.283	420	-
Litopón titanado (15% de TiO <sub>2</sub> ).	4.25	35.40	2.154	430	-
Oxido de zinc (americano).	5.60	46.65	2.004	170	1.34
Oxido de zinc plomado al 5%	5.64	46.98	2.000	-	-
plomado al 35%	5.88	48.98	1.960	-	-
plomado al 50%	6.00	49.98	1.990	-	-
Sulfuro de zinc	4.00	33.32	2.365	850	-

Nota.- La confección de esta tabla está basada en datos obtenidos de las siguientes fuentes:

-Circular 667-1943 National Paint, Varnish & Lacquer Asso. 18

-U.S. Bur. Mines Circ. 34, 1930.

**E.-Aplicaciones del litopón**

He aquí una breve relación:

- I - PINTURAS al óleo para interiores, tanto blancas como coloreadas; y en menor extensión en pinturas para exteriores. A la emulsión (Distempers), a la cola, a la cal, a la caseína, al Membranit, al "carbolineum", al silicato sódico. Se emplea también en pastas al aceite e imprimaciones.
- II - ESMALTES a base de resinas alquídicas; a base de caucho clorado (Pergut); a base de resinas sintéticas al alcohol. Esmaltes al aceite, nitrocelulósicos, de nitro-combinación. Esmaltes de pulir. Esmaltes de fondo; esmaltes blancos para interiores con 45% de litopón de 60%, y para exteriores con 11% de litopón de 60%.
- III- COLORES Y PASTAS DE ESTAMPAR para pintores; para imprimir papel; para la estampación de tejidos (por corrosión con hidrosulfito); para papel pintado. Colores y pastas a la cola y al aceite.
- IV - PRODUCTOS TEÑIDOS EN LA MASA.- El litopón se emplea como producto de carga y para aclarar artículos de goma, masas para cables, linóleo, hules, cuero artificial, materias plásticas (galalita, celuloide y otras modernas), piedras artificiales, cementos, masas cerámicas y masillas, lacres, y también para aclarar jabones y grasas.
- V - REVESTIMIENTOS en cueros artificiales y hules.
- VI - VARIOS.- Aprestos, mástiques, cables, productos cosméticos, pastas para el calzado.

Todo lo anteriormente dicho se refiere a los usos generales

Si se quiere tener una idea del volumen de pigmento requerido por cada aplicación hay que consultar estadísticas. En 1950 en EE.UU. se tuvo las siguientes cifras de demanda por aplicaciones:

Pinturas .....	78,000 tons.
Textiles y cubiertas para pisos .....	13,000 tons.
Caucho .....	4,000 tons.
Otras aplicaciones .....	10,000 tons.
Ventas totales .....	105,000 tons.

En el Perú se consumieron en 1954 291,456 Kgrs. repartidos en la siguiente forma:

Pinturas, afines y productos químicos diversos ....	273,743 Kgrs.
Curtidurías y talleres de acabado .....	6,390 Kgrs.
Industrias de jebe no especificadas .....	5,500 Kgrs.
Manufacturas de calzado .....	5,000 Kgrs.
Calzado de jebe .....	669 Kgrs.
Textiles y prendas de vestir ...	154 Kgrs.

## CAPITULO II

### MERCADO Y CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LA FABRICA

**SUMARIO.-** Datos estadísticos del mercado nacional; Tendencia del mercado; Posibilidades y ventajas que ofrece la fabricación del litopón; Capacidad de producción de la fábrica; Justificación de la capacidad de producción elegida.

A.- Datos Estadísticos del Mercado nacional

De los Anuarios Estadísticos del Comercio Exterior, años 1949 a 1956 se obtuvieron las siguientes cifras:

Importación bajo partida arancelaria N° 923

Año 1949

Derecho arancelario: kb. S/. 0.10

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	145,818	622,689
Bélgica .....	5,051	21,222
EE.UU. ....	404,733	1,230,891
Italia .....	5,681	22,524
Total .....	561,283	1,897,326

Puertos de entrada	Kilos	Soles oro.
Callao .....	539,382	1,828,323
Mollendo .....	21,901	68,955
Total .....	561,283	1,897,326

Año 1950

Derecho Arancelario: kb. S/. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	224,839	535,818
Bélgica .....	5,051	10,914
EE.UU. ....	32,238	78,433
Holanda .....	156,012	336,227
Total .....	418,140	961,392

Puertos de entrada	Kilos	Soles oro.
Callao .....	416,766	957,427
Mollendo .....	357	1,242
Pimentel .....	<u>1,017</u>	<u>2,723</u>
Total .....	418,140	961,392

Año 1951

Derecho arancelario: kb. S/. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	201,759	608,393
EE.UU. ....	121,923	352,230
Holanda .....	50,280	180,230
Total .....	382,962	1,141,317

Año 1952

Derecho arancelario: kb. S/. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	220,991	794,881
Bélgica .....	5,038	12,676
EE.UU. ....	32,650	102,241
Gran Bretaña .....	10,140	69,555
Holanda .....	50,500	174,229
Total .....	319,319	1,153,582

Año 1953

Derecho arancelario: kb. S/. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	130,011	375,524
Bélgica .....	5,038	12,928
EE.UU. ....	11,119	29,261
Gran Bretaña .....	2,637	6,766
Holanda .....	103,501	215,395
Yugoeslavia .....	7,100	13,439
Total .....	259,406	653,313

Año 1954

Derecho arancelario kb. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	268,247 .....	898,529
Bélgica .....	20,162 .....	55,792
EE.UU. ....	23,634 .....	75,018
Holanda .....	196,980 .....	567,733
Italia .....	20,320 .....	56,855
Total .....	529,343 .....	1,653,927

Año 1955.- No se pudo conseguir datos.

Año 1956

Derecho arancelario: kb. S/. 0.12

Países de origen	Kilos	Soles oro.
Alemania .....	256,344 .....	743,418
Bélgica .....	78,499 .....	204,373
Holanda .....	12,180 .....	35,857
Italia .....	<u>5,080</u> .....	13,512
Total .....	352,103 .....	997,160

Puertos de entrada	Kilos	Soles oro.
Callao .....	350,183 .....	991,210
Mollendo .....	1,920 .....	5,950
Total .....	352,103 .....	997,160

#### B.- Tendencia del Mercado

De los datos anteriormente citados y ciertas informaciones extraoficiales obtenidas de personas relacionadas con el mercado nacional de litopón, se llega a las siguientes conclusiones:

a) A pesar de las fluctuaciones en la demanda hay un consumo fijo anual de 300 toneladas métricas, habiéndose llegado a tener un consumo máximo de 600 toneladas en los años 1945 y 1948.

b) No puede decirse que la demanda de litopón va bajando,

ni predecirse, por el momento, si subirá en un futuro más o menos próximo. Los importadores de cierta importancia (son unos 5 ó 6) hacen sus cálculos sobre una base de 400 toneladas métricas anuales de consumo total en el país.

c) El consumo de litopón en provincias ha bajado debido a la etapa de crisis económica de las industrias del cuero en el departamento de Arequipa. Sin embargo el consumo total en provincias siempre se ha mantenido por debajo del 5% del consumo nacional.

d) En lo que se refiere a la procedencia del litopón importado, la demanda del pigmento alemán es la más pareja, manteniéndose sobre las 200 toneladas anuales, con excepción de los años 1949 y 1953. De las fábricas alemanas, los productos Bayer tienen preferencia sobre los de Schattlewen.

La importación de litopón americano había cesado ya en 1956. En años anteriores a 1950 había llegado incluso a sobrepasar la cifra de 400 toneladas anuales.

e) La producción nacional de litopón no merece prácticamente tomarse en cuenta por ser una cifra bastante pequeña y eventual, al parecer, de la que no hay mayores fuentes de información. Según la Estadística Industrial de 1954, en el año de 1953 se produjeron en el país 16,607 kgrs. valuados en 66,605 soles.

En resumen una sola conclusión puede formularse: el mercado nacional de litopón está desde hace algunos años en un período de estancamiento del que no es fácil salir. Sin embargo hay varias posibilidades de salir de ese estancamiento precario y lograr de modo más directo una mayor demanda de pigmento. He aquí algunas perspectivas promisoras para dicho mercado:



a) Las estadísticas acusan que la demanda nacional de pinturas excede a la producción local, cuando menos en cifras generales. En el Anuario Estadístico del Comercio Exterior 1956, publicado en Marzo de 1958, se tienen varias partidas arancelarias correspondientes a diversas clases de pinturas importadas. Las cifras totales son las siguientes:

Cantidad ..... 1,018,762 Kgrs.

Valor ..... 16,107,409 soles oro.

Si las fábricas ya establecidas amplían sus instalaciones, lo que desde ya es posible, se tendrá como consecuencia un aumento en la demanda de litopón, comprendido entre 100 y 200 toneladas anuales, por lo menos.

b) La industrialización del país con el establecimiento de grandes centros de trabajo en provincias aumentará la demanda de pinturas y pigmentos.

c) El desarrollo de industrias derivadas de las agropecuarias, tan necesarias a la economía nacional, no sólo para abastecer el consumo interno, sino también con fines de exportación que permitan nivelar al país sus balanzas de pagos; permitiría colocar mayores cantidades de litopón en el mercado nacional.

d) La crisis por la que atraviesa el zinc en el mercado mundial de metales y la repercusión de este hecho en la economía nacional con sus graves consecuencias, causa actualmente muchos dolores de cabeza a políticos, comerciantes e industriales. En nuestro caso la producción nacional de pigmentos, a base de zinc, aliviaría en algo la situación, si es bien planeada.

C.- Posibilidades y ventajas que ofrece la fabricación del litopón en el Perú.

Las posibilidades que hay para esta industria son:

a) Abundancia de materias primas básicas a precios relativamente bajos, debido a la competencia de varias firmas relacionadas con la explotación de baritina, minerales de zinc y antracita.

b) La mano de obra no especializada requerida por la industria, es barata.

c) Posible ayuda estatal, en principio, por lo que esta industria podría significar para aliviar la crisis del zinc y ahorrar divisas de importación.

Las ventajas que se derivarían de la instalación de una fábrica bien planeada serían:

a) Creación de un nuevo centro de trabajo que daría ocupación directa a 4 profesionales, 4 empleados y 22 obreros.

b) Estímulo a la fabricación de pinturas nacionales y a otras industrias relacionadas con el pigmento en virtud de un menor precio de venta: no menos de un sol de diferencia por kilo de pigmento nacional con relación al importado.

c) Consume materias primas nacionales. Puede ayudar a algún productor mediano o pequeño de concentrados de zinc.

d) Contribución a la industrialización del país y a su comercio exterior, por la exportación de productos industriales de calidad.

e) Aumento del índice de producción y consumo de ácido sulfúrico, ya que se consumirán aproximadamente 1000 toneladas anuales de ácido 66° Bé. Esto representaría un estímulo para los pro-

ductores y quizás les permitiera reducir en algo sus costos de producción en beneficio de la industria en general.

En resumen la instalación de una fábrica de litopón de las características que en el presente anteproyecto se exponen representaría un pequeño pero valioso aporte a la consolidación de la economía nacional sobre una base firme y estable.

**D.- Capacidad de producción de la fábrica.**

a) Consumo anual en el Perú (1957) .....	400 tons.
Id. en países limítrofes como Chile, Bolivia, Ecuador y Colombia (población aprox. 3 veces la del Perú). .....	1,200 tons.
Consumo actual de los países bajo consideración. ....	1,600 tons.
b) Posibilidad de aumento en el consumo de litopón:	
- En el Perú .....	200 tons.
- En los otros países ya mencionados .....	600 tons.
- Posibilidades más remotas: Centro-América, otros países Sudamericanos; para abastecer una mayor demanda eventual en algún mercado, etc. ....	200 tons.
Aumento total posible .....	1,000 tons.
Capacidad total de producción .....	2,600 tons.

**E.- Justificación de la capacidad de producción**

a) Sin mayor riesgo podemos considerar que el promedio de los índices industriales de Chile, Bolivia, Ecuador y Colombia, coincide con el del Perú. Por esta razón se ha considerado el consumo global de estos países proporcional a la relación 3:1 de población, con respecto al Perú.

b) La posibilidad de aumento en el consumo de litopón en el país se ha estimado de la siguiente forma:

1- La población del Perú según el Boletín de Estadística Peruana 1958 es de 10,213,000 habitantes.

2- Podemos considerar que un 6% de esta cifra constituye la llamada clase media, que junto con un porcentaje aún más reducido compuesto por la clase superior o élite, tienen una serie de necesidades, adicionales a las primarias, indispensables e impuestas por un nivel superior de vida debido a educación y cultura superiores. Entre este grupo de necesidades figura la limpieza y mantenimiento de los hogares, y por tanto el requerimiento de pintar la casa cuando menos una vez al año. Actualmente esto representa un fuerte desembolso para la clase media, y esta situación va camino de agudizarse más aún, debido a que se emplean pigmentos importados de los que algunas variedades como el titanox anatase o rutilo son bastante caros (Unos 22 soles el kilo).

3- Conocida de todos es la incómoda situación en que se encuentra la clase media en estos tiempos de crisis económica mundial. En el Perú podemos considerar al 33% de la clase media con presupuestos tan estrechos que no pueden afrontar el gasto que les demandaría el pintar sus casas anualmente. Este porcentaje representa más o menos 200,000 personas.

4- Supongamos un espacio vital mínimo de 30 metros cúbicos por persona, que podemos considerarlo como un cuarto de 3x5x2 m., con un área de paredes de 32 metros cuadrados. El área total a pintar sería: 6,400,000 metros cuadrados.

5- Consideremos una pintura de la siguiente formulación:

litopón                      70% por peso.

aceite de linaza                    30% por peso.

Con un poder de cubrimiento de 20 m<sup>2</sup>/US. gal. y un "bulking value" de 11.7 Kg/US. gal.

Se necesitarían pues: 6,400,000 ; 20 = 320,000 galones de pintura que convirtiéndolos a base de peso serían:

$$320,000 \times 11.7 = 3,750,000 \text{ kgrs.}$$

de los que corresponderían al litopón:

$$3,750,000 \times 0.7 = 2,600,000 \text{ kgrs.} = 260 \text{ T.M.}$$

De aquí las 200 toneladas asumidas corresponden a un 77%.

De manera análoga se consideran 600 toneladas para los cuatro países antes mencionados.

Finalmente quedan por discutir las 200 toneladas asignadas a posibilidades más remotas, como ser el abastecer una mayor demanda eventual en algún mercado en que el pigmento ha logrado aceptación; o tantear, cuando haya lugar, nuevos mercados más remotos como Centro-América, Venezuela, etc.

En conclusión la planta se diseñará para la producción de 2,600 toneladas anuales de litopón normal de 30% de ZnS.

## CAPITULO LII

### MATERIAS PRIMAS Y UBICACION DE LA FABRICA

SUMARIO.- Clasificación. Propiedades, yacimientos y abastecimiento, datos estadísticos de baritina, antracita, concentrados de zinc. Acido sulfúrico. Intermedios elaborados en la fábrica: lejías de sulfuro de bario y de sulfato de zinc.

Ubicación de la fábrica.- Su justificación.

**INTRODUCCION.-** Las materias primas requeridas para la fabricación del litopón pueden dividirse en tres grupos, a saber:

a) Materias primas básicas:

Baritina

Concentrados de mineral de zinc

Carbón (antracita)

Acido sulfúrico

b) Intermedios elaborados en la fábrica:

Lejía de sulfuro de bario

Solución de sulfato de zinc

c) Ingredientes secundarios:

Cal magra

Sulfuro de sodio

Cloruro de sodio

Cloruro de amonio

Cloruro de calcio

Polvo de zinc

Azul de ultramar

Reactivos para el control del proceso

**Baritina.-** Propiedades

Es el mineral de sulfato de bario. Se le conoce también por los nombres de barita y espato pesado. Abunda en la naturaleza presentándose generalmente en la forma de masas espáticas y agregados de cristales tabulares y laminares. El color del mineral puede ser blanco, amarillo ó gris, o en su defecto de otros tonos. En nuestro medio el color del mineral varía comunmente del amarillo rojizo al pardo claro (beige); sin embargo también se encuentran depósitos dignos

de consideración constituidos por baritina blanca, la cual está prácticamente exenta de hierro. También es propiedad característica del mineral el color blanco de su raya, así como su brillo vítreo o nacarado.

Los cristales de baritina son rómbicos y tienen un índice de refracción de 1.636. La transición al sistema monoclinico ocurre a 1149°C; y a 1580°C se descompone el sulfato con evolución de anhídrido sulfuroso o sulfúrico según el caso.

La dureza varía dentro del rango comprendido entre las cifras 2.5 a 3.5 correspondientes a la escala de Mohs. El peso específico es bastante alto y fluctúa entre 4.3 a 4.6, pudiendo tomarse un promedio de 4.4 para la baritina que ha de ser suministrada a la fábrica.

La solubilidad en agua y en reactivos de uso común es pequeña, y por esta razón no es venenosa como las otras sales de bario. A 26°C la solubilidad del sulfato bárico en 100 cc. de solución es como sigue: en HCl 1N, 8.9 mgrs.; en HCl 2N, 10.1 mg. en HNO<sub>3</sub> 2N, 17.0 mg. A concentraciones mayores de HCl y HNO<sub>3</sub> se tienen solubilidades también mayores debido a la formación de HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> como se ilustra por la siguiente ecuación:



El orden de magnitud de las solubilidades máximas en los citados ácidos es inferior a 0.1 gramos en 100 cc de solución a 100°C.

En agua, la solubilidad en 100 partes varía de 0.000115 a 0°C hasta 0.000310 a 100°C. En ácido sulfúrico diluido es menos soluble que en agua debido al efecto del ión común. El mismo ácido concentrado y en caliente disuelve sólo pequeñas cantidades de sulfato bárico.



Las soluciones concentradas de carbonato sódico en caliente disuelven cantidades mayores de la sal en cuestión; se tiene así que a 100°C, 100 cc de solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3N disuelven 348 mg. de  $\text{BaSO}_4$ .

Merece citarse el hecho que la baritina después de ser sometida a calentamiento da un residuo de reacción alcalina.

#### Yacimientos y abastecimiento

Entre las compañías que se dedican a la explotación de barin en el medio, son citables las siguientes:

Peruvian Chemical Industries

The Barmine Company

P. Rosselló & Cía.

La explotación de baritina en gran escala se inició en 1944. Puede decirse que prácticamente el 100% del material extraído de las concesiones de las dos primeras compañías citadas, es suministrado a compañías petroleras que lo utilizarán, previa mezcla con bentonita, para obtener el barro de perforación. La baritina es empleada a causa de su alto peso específico el cual determina una densidad apropiada que permite al barro de perforación extraer los fragmentos de roca por efecto boyante. El mayor o menor peso específico de la baritina es función directa del contenido de sulfato de bario; es por esta razón que en el país sólo se explotan canteras de baritina en las que se tiene un mínimo de 95% de sulfato de bario. Los principales yacimientos en actual explotación se encuentran en el departamento de Lima: en los valles de Canta y Lurigancho y en las provincias de Huarochirí y Cajatambo.

El precio de la baritina depende de las condiciones de ex-

plotación y de los costos de transporte así como también de la forma en que se vende sea en en trozos o molida. En la siguiente tabla se dan precios FOB expresados en soles por tonelada métrica para diversas condiciones de venta:

Baritina puesta en ...	Granulometría	Precio
Lima .....	trozos de 3 a 4" .....	120.00
Lima .....	100% - # 35 .....	260.00
Talara .....	92-95% - #325 .....	380.00

Análisis promedio.- El mineral que ha de ser suministrado a la fábrica tendrá el siguiente análisis cuantitativo en promedio:

BaSO <sub>4</sub> .....	97.50%
CaO .....	0.90%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0.90%
SiO <sub>2</sub> .....	0.50%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0.10%
Fe° (contaminación) ...	0.03%
Otros (MgO, sales, etc).	0.10%
Total .....	100.03%

Este mineral procede de las canteras de los alrededores de Chosica. Está exento de carbonatos y es prácticamente neutro.

Datos Estadísticos.- El Boletín de Estadística Peruana 1958 da cifras de producción de los años 1944 a 1956. Estas cifras son:

Años	Toneladas métricas	Valor
1944	2,352	128,397 soles
1945	4,240	200,463 soles.

Años	Toneladas métricas	Valor
1946	7,187	339,801 soles
1947	6,560	310,150 soles
1948	1,787	174,213 soles
1949	6,350	415,549 soles
1950	3,031	628,200 soles
1951	23,015	3,008,253 soles
1952	9,104	1,424,095 soles
1953	15,539	1,997,948 soles
1954	11,202	1,273,566 soles
1955	8,537	2,250,164 soles
1956	10,524	2,841,480 soles

#### Concentrados de mineral de zinc

Propiedades.- Estos son concentrados de blenda, el mineral de zinc más importante, proveniente, en su mayor parte, de la rica zona minera ubicada en la zona central de nuestra Sierra. La blenda se presenta en cristales cúbicos, y también en masas granulares compactas o fibrosas. El color del mineral puede ser pardo negro, o bien amarillo, y posee un brillo de resinoso a diamantino. Su dureza varía de 3.5 a 4.0; y su peso específico de 3.9 a 4.1. La blenda es insoluble en el agua, pero soluble en los ácidos minerales diluïdos. Por el calor se vuelve fosforescente, sobre todo cuando encierra algunas impurezas de cloruros.

Los concentrados son obtenidos sometiendo el mineral a tratamiento mecánico, que incluye molienda a 100% - # 65 (0.2 mm), y luego separándolo de la ganga por flotación en baterías de 5 celdas, o en las antiguas máquinas de Callow.

## Yacimientos y abastecimiento

Los principales yacimientos de mineral de zinc se encuentran en la región de Casapalca, que está dentro de las concesiones de la Cerro de Pasco Corporation. Le siguen en importancia los yacimientos que explota en Junín, la Compagnie des Mines Huarón. Hostchild & Cía poseen también minas de zinc de cierta importancia, de una de las cuales, llamada Buenaventura (Pisco), se obtienen concentrados con 60% de zinc.

Los precios por tonelada varían desde 10 dólares cuando el contenido de zinc es del 54%, hasta 23 ó 25 dólares para los concentrados con 60% de zinc.

Los concentrados de zinc son exportados principalmente a los EE.UU. y a Bélgica, según consta en la partida arancelaria de exportación N° 2334 sub-partida 58.

### Datos analíticos de concentrados de blenda:

	Base húmeda	Base seca
Humedad .....	9.00%	-
Zn .....	53.80%	59.20%
Fe .....	<del>3.22%</del>	3.50%
Pb .....	1.97%	2.17%
Cu .....	0.21%	0.23%
S .....	30.80%	33.80%
As .....	0.12%	0.13%
Material insoluble ....	0.88%	0.97%
Total .....	100.00%	100.00%

Análisis granulométrico:

Malla #	%	mallla #	%
∕ 28 .....	0.1	∕ 150 .....	6.6
∕ 35 .....	10.2	∕ 170 .....	31.3
∕ 65 .....	11.2	∕ 200 .....	1.4
∕ 80 .....	7.4	∕ 325 .....	3.4
∕ 100 .....	26.5	- 325 .....	1.9
		Total .....	100.0

Datos Estadísticos de minerales de zinc producidos en el Perú de 1940 a 1956:

Años	Toneladas métricas	Valor
1940	17,675	8,542,104 soles
1941	22,810	13,600,532 soles
1942	24,448	15,243,964 soles
1943	34,280	19,905,156 soles
1944	57,000	23,672,675 soles
1945	61,154	28,854,381 soles
1946	59,736	41,142,499 soles
1947	58,181	54,865,408 soles
1948	58,842	67,805,146 soles
1949	72,217	150,805,668 soles
1950	87,879	334,447,527 soles
1951	101,300	342,390,884 soles
1952	127,845	426,727,970 soles
1953	139,102	296,054,130 soles
1954	158,562	380,973,244 soles
1955	166,082	455,514,388 soles

Continuación de datos estadísticos:

1956	175,120 T.M.	539,076,212 soles
------	--------------	-------------------

### Carbón.- Generalidades y propiedades

El carbón que hoy se extrae de las minas, denominado también hulla, es una materia vegetal fósil que se desarrolló durante el período carbonífero y quedó enterrada bajo agua y yacimientos térreos que la protegieron de la putrefacción. Esta materia de composición original aproximada  $C(H_2O)$ , según J.B. Connant, fué entonces sometida a un lento proceso de carbonización bajo la acción de factores de variada naturaleza: físicos, físico-químicos, químicos y bioquímicos. Durante las sucesivas fases de esta transformación el contenido de carbono fué aumentando gradualmente, alcanzando primero un 60% y constituyendo la turba; y posteriormente, al continuar el proceso se tuvo: lignito (70%), hulla bituminosa (78%), hulla semibituminosa (83%), y por último, antracita (90%). El carbón es usado principalmente como combustible sólido; pero en el presente proyecto se le considera sólo como agente reductor y el rango o clase de carbón seleccionado para este propósito es la antracita. Esta es una masa negra, amorfa, frágil, sonora y brillante que arde con llama poco luminosa y corta. Contiene pocas impurezas, sustancias bituminosas e hidrógeno, y en ella no es posible reconocer su origen vegetal. La ceniza, el azufre y el "hueso", o sea la roca pizarreña que acompaña al carbón, pueden destruir su valor. Gran parte del "hueso" y algo del azufre pueden ser reducidos mediante lavado. Hoy día la separación del "hueso" se logra por la aplicación del "sink and float process" o por un método combina-

do de lavado y "sink and float". El carácter y la cantidad de ceniza dependen de la composición y de la calidad del carbón mismo. A causa de la diferencia en la fusibilidad de la ceniza, los carbones que tienen la misma cantidad de ceniza pueden diferir mucho en cuanto a su conveniencia para el uso. Si la ceniza se funde a una temperatura relativamente baja forma rápidamente una escoria cristalina en la parte más fría del horno. La antracita con que se abastecería la fábrica, tiene las siguientes características de reblandecimiento y fusibilidad de su ceniza:

Comienzo de la deformación	2550°F
Temperatura de reblandecimiento	2740°F
Temperatura del estado de fluidez	2760°F

Para su utilización en procesos de reducción se considera generalmente al carbón como material ácido, ya que los elementos carbono e hidrógeno están asociados en un compuesto denominado ácido úlmico, del que constituyen el 69%. Además en la ceniza casi siempre predominan los compuestos minerales de reacción ácida, tal el caso de la sílice.

En cuanto se refiere al peso específico, se puede decir que este varía de acuerdo a la ubicación de las minas, y así en Europa la densidad de la antracita fluctúa de 1.3 a 1.6; en Pennsilvania (EE.UU) de 1.6 a 1.75; y en el Perú, en los yacimientos de la cuenca del Santa, se tienen valores bastante elevados que varían de 1.9 a 2.1, lo que hace algo dificultosa su separación de las pizarras que lo acompañan (peso específico de 2.3 a 2.7).

Otras propiedades del material que se emplearía son:

Poder calorífico: 12,000 Btu/lb.

Friabilidad	64.8%
Estabilidad de tamaño (A.S.T.M.)	85.0
Indice de molienda Hardgrove	45

### Yacimientos y abastecimiento

La zona carbonífera del Perú se extiende desde Cajamarca hasta Huancavelica. Los yacimientos principales se encuentran en la zona de Huayday a 90 kms. de Pto. Chicama. Se estima que en esta zona se tiene una existencia de 3 mil millones de toneladas. Otra zona carbonífera importante se extiende paralelamente a la costa desde la provincia de Llata, en Huánuco, hasta el departamento de Huancavelica, ocupando un área de 1,650 kilómetros cuadrados. Sin embargo la explotación es aún pequeña y corre a cargo de unas pocas compañías, entre las que se pueden citar las siguientes:

Carbonera Chimbote

Carbonera Ancos

Centropolis S.A.

La Cerro de Pasco Corporation posee una mina en Gollarisquisga donde se extrae hulla semibituminosa, sólo para la planta de fundición de cobre de la Oroya. La Compañía Carbonera Chimbote tiene sus minas en la cuenca del Santa, departamento de Ancash. Esta compañía exporta su carbón por el puerto de Chimbote con destino a Francia y a la Argentina.

Análisis de antracita.- Procedencia: minas Ancos y Galgada.

Compañía Carbonera Chimbote S.A.



## Análisis químico elemental

	Base húmeda	Base seca	Base libre de cenizas.
Humedad	3.10%	-	-
Carbón	85.38%	88.20%	95.50%
Hidrógeno	1.53%	1.58%	1.73%
Nitrógeno	0.61%	0.63%	0.68%
Azufre	0.94%	0.97%	1.05%
Oxígeno	0.92%	0.96%	1.04%
Cenizas (corregidas)	7.52%	7.76%	-
Totales	100.00%	100.00%	100.00%

## Análisis químico aproximado

	Base húmeda	Base seca	Base libre de cenizas.
Humedad	3.10%	-	-
Cenizas	7.87%	8.10%	-
Materia volátil	6.15%	6.40%	6.85%
Carbón fijo	82.88%	85.50%	93.15%
Totales	100.00%	100.00%	100.00%

## Análisis químico de la ceniza

SiO <sub>2</sub>	57.30%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.91%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.16%
CaO	(ninguna precipitación en 6 horas).
MgO	0.49%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20%

KNaO 3.54%

Suma parcial 99.60%

Fósforo en el carbón desecado al aire:

0.009%

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.021%

Total 0.030%

Análisis granulométrico:

Pasa a través

Retenido sobre

-	2" $\phi$	-
2" $\phi$	1 1/2" $\phi$	-
1 1/2" $\phi$	1 1/4" $\phi$	-
1 1/4" $\phi$	1" $\phi$	5.6
1" $\phi$	3/4" $\phi$	16.4
3/4" $\phi$	1/2" $\phi$	23.1
1/2" $\phi$	1/4" $\phi$	14.5
1/4" $\phi$	U.S. # 4	9.2
U.S. # 4	# 8	7.7
# 8	# 16	11.0
# 16	# 30	3.2
# 30	# 50	4.6
# 50	# 100	2.7
# 100	# 200	0.8
# 200	-	1.2
Total		100.0

Datos estadísticos de producción de antracita en el Perú (1940 - 1956).

Años	Toneladas métricas	Valor
1940	4,500	S/. 45,000
1941	4,600	46,000
1942	4,500	75,000
1943	22,716	1,362,960
1944	14,545	872,700
1945	36,848	2,399,007
1946	82,089	3,036,472
1947	82,045	2,707,485
1948	45,969	2,689,186
1949	27,994	3,345,591
1950	26,780	4,890,324
1951	63,772	10,303,134
1952	79,679	14,106,146
1953	68,916	15,850,680
1954	132,428	13,886,702
1955	13,467	4,445,270
1956	12,357	4,061,733

### Acido Sulfúrico

Es un ácido fuerte dibásico, que tiene gran y variada aplicación en la industria, al extremo que se ha llegado a decir que el volumen de su fabricación y consumo es un índice del desarrollo industrial de una nación. En el Perú los principales fabricantes son CdP Corporation y Rayón Peruana, que lo producen principalmen-

te para utilizarlo como materia prima en sus plantas industriales. Las impurezas industriales que acompañan al ácido comercial 66°Bé, son, según especificaciones de producción, citadas por algunos autores como Kirk, las siguientes:

ácido nítrico	0.0005%
ácido clorhídrico	0.0005%
sustancias oxidadas por $\text{KMnO}_4$ (como $\text{SO}_2$ ).	0.0700%
Hierro	0.0200%
otros metales (Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, Pt).	0.0140%
amonio	0.0010%
trióxido de arsénico	0.0001%
Antimonio	0.0001%
selenio	0.0020%
material no volátil	0.0500%
Total de Impurezas	0.1582%

#### Sulfuro de bario.- Propiedades

Es una masa pulverulenta de color gris negruzco o negro, y de estructura fofa, que tiene un marcado olor de hidrógeno sulfurado, cuando está húmeda. El sulfuro de bario es fácilmente atacado por el dióxido de carbono y los halógenos. Del aire absorbe dióxido de carbono y agua, y se oxida. A altas temperaturas es oxidado por el oxígeno a la forma de sulfato; formándose también compuestos intermedios oxígeno-azufre. El sulfuro de bario cuando puro y mezclado con trazas de otros metales, exhibe la propiedad de fosforescencia. El sulfuro de bario se parece en sus propiedades químicas al sulfuro cálcico.

Las reacciones más importantes en que interviene el sulfuro de bario son:

a) Hidrólisis:



b) Por calentamiento junto con sulfato bórico:



c) Reacciones con cloruros:



Comercial y tecnológicamente se conoce al sulfuro de bario bajo la denominación de "black ash"; y sirve para la obtención de compuestos de bario solubles e insolubles (blanco fijo, litopón, carbonato, nitrato, cloruro, hidróxido de bario, etc.); y para extraer el azúcar de las melazas. Se emplea también en la industria del cuero como depilatorio, es decir, para eliminar el pelo de las pieles. En análisis forenses se utiliza para la producción de hidrógeno sulfurado exento de arsénico.

El producto comercial contiene todas las impurezas no volátiles de la baritina. Un análisis típico, según puede verse en la Enciclopedia de Tecnología Química de Kirk & Othmer es:

BaS (soluble en agua)	75 - 90%
Insoluble en agua, como BaCO <sub>3</sub>	16 - 4%
Insoluble en ácido, como BaSO <sub>4</sub>	1%
Ceniza de carbón (SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , etc)	5 - 8%

Ullmann Fritz en su conocida Enciclopedia de Química Industrial da las siguientes cifras para un material producido en un hor-

no rotatorio:

Solubles en agua (sulfuro de bario)	60 - 70%
Solubles en ácidos (carbonato y silicato de bario).	20 - 25%
Residuo insoluble	5%

### Sulfato de zinc.- Propiedades

Se obtiene de la blenda por cuidadosa tostación en hornos rotatorios, o mejor aún, en hornos de mufla. Otro método de preparación industrial consiste en la lixiviación del óxido por el ácido sulfúrico. El sulfato de zinc calentado a elevada temperatura se descompone:



El sulfato de zinc cristaliza en el sistema rómbico y su índice de refracción es de 1.669. Su gravedad específica es de 3.74.

El sulfato de zinc es sumamente soluble en el agua. He aquí algunas solubilidades en 100 partes de agua:

0°C	42
50°C	49
100°C	61

La solubilidad de la sal es aún mucho mayor si posee agua de cristalización. Así para la sal heptahidratada se tiene:

0°C	115.2
10°C	138.2
50°C	263.8
100°C	653.6

Las soluciones de sulfato de zinc tienen reacción ácida y son venenosas. Tienen además la propiedad de precipitar la albúmina,

por lo cual se les emplea como desinfectantes.

A renglón seguido se dan pesos específicos de algunas soluciones de sulfato de zinc:

%	D (15°C).	D (20.5°C)
20	1.1236	1.1222
25	1.1574	1.1560
30	1.1933	1.1914
35	1.2315	1.2285
40	1.2709	1.2674
45	1.3101	1.3087
50	1.3532	1.3511
60	1.4451	1.4439

Aparte de la fabricación del litopón el sulfato de zinc tiene aplicación en la conservación de maderas; en la industria textil para hacer ininflamables los tejidos; y para el estampado haciendo las veces de mordiente. También sirve como agente de clarificación, y como preservativo en la fabricación de la cola. En medicina se emplea como astringente.

**UBICACION DE LA FABRICA.-** Su determinación

Los factores que determinan la ubicación de una fábrica son:

Mercados.

Materias primas.

Mano de obra.

Condiciones de vivienda de la comunidad.

Edificios disponibles para la fábrica, o terrenos aprovechables.

Fuerza Motriz.

Medios de ~~transporte~~ y comunicación.

Industrias cercanas relacionadas.

Impuestos.

Facilidades financieras (Bancos).

En el presente caso mercado y materias primas requieren la mayor consideración. No se tomarán en cuenta los impuestos directos, que son iguales en todo el país; y se dará una importancia secundaria a la mano de obra, facilidades financieras, terrenos, etc.

La selección se hará entre las siguientes localidades: Lima, Chosica, Matucana y La Oroya; de acuerdo a la siguiente escala de clasificación:

Factores de localización	Puntos máximos permitidos
Mercado	1,000
Materias primas	800
Industrias cercanas relacionadas	800



Transporte	600
Facilidades financieras	500
Fuerza Motriz	400
Mano de obra	300
Condiciones de vivienda	300
Terrenos aprovechables	200
Puntaje total máximo	4,900

Los resultados, del estudio realizado sobre esta base, fueron:

Lima	4450 ptos.
La Oroya	2850 ptos.
Chosica	2100 ptos.
Matucana	1650 ptos.

Por tanto la fábrica se establecería en Lima, en un sector industrial como el de la Avenida Argentina.

## CAPITULO IV

### PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION

**SUMARIO.-** Métodos empleados en la fabricación. Desarrollo del procedimiento elegido. Control de procesos y de calidad del producto. Análisis del producto obtenido. Residuos industriales: su posible utilización.

Métodos empleados en la fabricación.

La Enciclopedia Británica en su tomo 14, págs 212-213, bajo la palabra "Lithopone", transcribe los siguientes párrafos de F.J.G. Du.:

Las etapas esenciales en la manufactura del pigmento son: baritina finamente molida es calcinada a calor blanco (white heat) con hulla, coke o charcoal. El sulfuro de bario así producido es disuelto con agua y tratado por uno de los dos métodos que a continuación se citan.

a) Una solución débil de sulfato de zinc (libre de hierro) es añadida en ligero exceso, y el precipitado de sulfato de bario y sulfuro de zinc así formado es bien lavado y secado. El litopón crudo seco es calinado a un bajo calor rojo (rojo cereza), temperado con agua fría, y luego finamente molido, prensado y secado.

b) El sulfuro de bario es tratado con una solución de cloruro de zinc. Así se producen sulfuro de zinc y cloruro de bario. Se añade luego solución de sulfato de zinc, que precipita sulfato de bario. Por la adición de solución fresca de BaS, el cloruro de zinc formado en la reacción anterior puede ser usado para precipitar más sulfuro de zinc. En resumen el mecanismo del proceso de coprecipitación está integrado por las reacciones;



Siendo la reacción total la misma que para el caso anterior, que se citó anteriormente en la página N° 1 del presente proyecto.

Desarrollo del procedimiento elegido.- Procesos y Operaciones Previos.- Obtención de la lejía de sulfuro de bario.

Las operaciones preliminares se refieren al almacenamiento, tratamiento mecánico para la reducción del tamaño, mezcla y transporte al horno de reducción. La forma de almacenamiento es función de las propiedades del material, principalmente de su análisis granulométrico. La baritina puede ser comprada con las siguientes propiedades:

Material que pasa a través de malla # 35	100%
Material retenido en malla # 80	95%
Peso específico promedio: 4.40	

En estas condiciones el almacenamiento más conveniente se logra mediante un silo o conjunto de silos, según la escala de producción de la fábrica. En el presente caso se empleará un silo con sus mecanismos accesorios de alimentación, pesada y control de nivel, del tipo ilustrado en el manual de Perry pág 1383 y reproducido en los planos de detalle del Apéndice de esta tesis.

Para el almacenamiento de antracita en las condiciones descritas en el capítulo III (45% retenido en criba de 1/2") es más recomendable el empleo de tolvas.

Solamente la antracita será sometida a la reducción de tamaño. Posteriormente se determinará que una trituradora Jeffrey B de 20 x 12" y criba de 1/8" es la más recomendable para la operación en las condiciones que la capacidad de producción escogida impone. Según Perry op. cit. pág 1129, el análisis granulométrico del producto de la trituración de la máquina de 36 x 24" y

1/8" para 1600 rpm, que se asumirá ser aproximadamente igual al de la máquina escogida, es:

Material que pasa a través de malla # 10	96%
Material que pasa a través de malla # 100	49%

El material descargado de la trituradora es recibido en sacos de yute y transportado manualmente a un cajón de pesada, antes de ser alimentado a una mezcladora de tambor. La mezcladora se carga luego con baritina con una cantidad tal que la relación de pesos de baritina a antracita sea 4:1. Además se adicionan cloruro de sodio y agua (catalizador y aglomerante) en una proporción equivalente al 1.0% y 8.0%, aproximadamente, del peso total de baritina y antracita. El material descargado de la mezcladora es depositado en la tolva del horno hasta que llegue el momento de su tratamiento.

Los hornos utilizados y recomendados en manuales y revistas técnicas, principalmente el Chemical Engineering, para la reducción de la baritina son:

a) Hornos rotatorios de trabajo intermitente del tipo Brückner. Estos son hornos antiguos que llegaron a tener mucha aplicación entre 1860 y 1900. En tratados generales de química anteriores al año de 1920 se hace mención de estos hornos en el procedimiento de fabricación del carbonato de sodio por el método Leblanc, en el pudelado de los aceros, y en la tostación de concentrados de blenda y galena. Sin embargo según Kirk & Othmer (Encyclopaedia of Chemical Technology) hasta hoy día siguen usándose para la fabricación de sulfuro de bario.

b) Hornos rotatorios continuos de un sólo diámetro, del mismo tipo de los ya clásicos hornos de cemento, que también actualmente se emplean mucho en la fabricación de cal viva.

c) Hornos de Flúo-Sólidos. Estos constituyen la última novedad técnica en hornos de proceso químico, pero tienen un mantenimiento elevado que los hace imprácticos para pequeña escala en nuestro medio.

d) Hornos de retortas continuos del tipo Siemens.

e) Hornos de mufla de trabajo discontinuo.

f) Hornos de reverbero de solera plana con rastrillado a mano o mecánico. Estos hornos tienen el inconveniente de la contaminación del material con hierro de los rastrillos.

g) Hornos eléctricos Kjellin.

Los hornos Brückner, según Trinks (Industrial Furnaces), tienen una eficiencia térmica comprendida entre 10 y 20% cuando trabajan 24 horas diarias en forma intermitente con una o dos cargas.

En los hornos rotatorios continuos hay una relación de proporcionalidad directa entre la longitud del horno y la eficiencia térmica. Con este tipo de hornos se alcanzan eficiencias superiores al 80% y aún es matemáticamente posible obtener eficiencias térmicas mayores que 100% con hornos de una relación longitud:diámetro mayor de 50, y recuperación de calor, más cualquier calor de reacción de la carga; y con un cuidadoso control de las variables de operación del horno:

Cantidad de alimentación.

Cantidad de combustible.

Cantidad de aire.

Temperatura de descarga del producto.

Temperatura del producto en una zona intermedia del horno.

En Perry op. cit. pág. 1611 se reproducen cifras de la Circular 7174 (1939) del U.S. Bureau of Mines, relativas a eficiencias de hornos rotatorios de cal para diversos tipos y cantidades de combustibles, y para operación en condiciones de pequeña y gran escala de producción. Las cifras citadas en dicha Circular varían de 59.0 a 76.5%.

En el Capítulo V, de esta tesis, se verá que un horno rotatorio continuo de relación longitud:diámetro interno 5, trabajando en forma semicontinua en una guardia de 8 horas por día tiene las cifras de eficiencia siguientes:

a) Durante el proceso:

Basada en el P.C.T. del F.O.5	22.5%
,, ,, P.C.N. ,, ,,	24.0%

b) Si se considera el calentamiento del horno estas cifras serán menores:

Eficiencia basada en P.C.T.	17.6%
,, ,, P.C.N. ,, ,,	18.8%

Haciendo una comparación con los valores obtenidos para la misma producción y usando el mismo combustible en un horno Brückner se nota una diferencia algo apreciable. En efecto para este horno se obtuvieron las siguientes eficiencias, incluido calentamiento:

Basada en el P.C.T.	11.2%
,, ,, P.C.N. ,, ,,	12.0%

Además el horno Brückner tiene las siguientes desventajas con relación al horno escogido:

- a) El calor no se reparte uniformemente a toda la carga.
- b) Sistema de desgarga engorroso e imperfecto.
- c) Mayor costo en mano de obra y mantenimiento.

Escogido el equipo queda por considerar el proceso de reducción en sí mismo; es decir las diversas reacciones y sus condiciones determinantes. La formación del sulfuro de bario puede ocurrir según dos reacciones:

- a) En un rango de temperaturas de 600 a 800°C



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = + 56.1 \text{ Kcal./gmol.}$$

- b) Si se emplea mayor cantidad de carbón y temperaturas más elevadas, comprendidas en el rango de 1000 a 1500°C se tiene:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = + 139.2 \text{ Kcal./gmol.}$$

De estas dos reacciones mencionadas, la primera es aparentemente la más conveniente por la economía que ofrece en carbón y combustible; sin embargo para este caso específico, tiene la desventaja de una mayor conversión del sulfuro a óxido:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = + 94.7 \text{ Kcal./gmol.}$$

$$K_p = \frac{(p_{\text{CO}})^3 (p_{\text{SO}_2})}{(p_{\text{CO}_2})^3}$$

Una reacción secundaria pero de considerable importancia es la formación de carbonato de bario en la forma de los complejos insolubles de sílico-ferrito-carbonato y sílico-ferrato-carbonato de bario:





$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = -162.2 \text{ Kcal./gmol.}$$

$$K_p = \frac{(p_{\text{SO}_2})}{(p_{\text{O}_2})^{1.5} (p_{\text{CO}_2})}$$

Otras reacciones secundarias ocurren entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{CaO}$ ; y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Estas reacciones tienen lugar a partir de los  $900^\circ\text{C}$  en adelante, y son inconvenientes por formar "lamas" que engloban porciones de material aprovechable.

El rendimiento del proceso, en sulfuro de bario, depende de los siguientes factores:

a) Uso de catalizador. H. Rivera en su obra Fabricación Industrial de Productos Químicos, aconseja el uso de un cloruro alcalino, para favorecer la reacción. Con esto se logran conversiones del 80% en adelante.

b) Intimo contacto entre los reactantes. Hay muchos métodos para conseguir este propósito. Estos son: aglomeración, briquetado, sinterizado, peletizado y nodulación. En el presente caso se utilizará la aglomeración con 8% de agua, de manera similar a la empleada en el proceso de tostación aglomerante de Huntington - Heberlein.

c) Contenido de óxido férrico y sílice en la carga del horno. Por la presencia de estas impurezas parte del porcentaje del BaS soluble es convertido en un complejo insoluble en agua, pero soluble en ácido. Un incremento del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  del 1 al 2% puede disminuir el contenido de BaS del 90% al 76 - 78%.

El sulfuro de bario obtenido, aún caliente, tal y como sale del horno, es lixiviado con agua, en un tanque de concreto re

vestido, provisto de agitación mecánica.

En los procesos de fabricación continua para producciones alrededor de las 10,000 T.M. anuales, se tiene una molienda húmeda del material descargado del horno, antes de someterlo a la lixiviación. Para el presente caso no se justifica tal molienda.

La lixiviación del sulfuro de bario aparte de operación es también un proceso unitario debido a la formación del sulfhidrato bórico:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 12.4 \text{ Kcal./gmol.}$$

Reacciones secundarias de este proceso son:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = + 4.6 \text{ Kcal./gmol.}$$



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 36.9 \text{ Kcal./gmol.}$$

Posteriormente la lejía es decantada en una batería de 2 tanques de madera, dispuestos para trabajar en contracorriente y provistos de agitación lenta. Finalmente, previa corrección con sulfuro de sodio, se bombea la lejía a un tanque de almacenamiento.

Obtención de la solución de sulfato de zinc

La materia prima más conveniente la constituyen los concentrados de blenda. La chatarra de zinc si bien ofrece algunas ventajas, como la de permitir una lixiviación directa; tiene el inconveniente de su elevado precio (S/. 2.06 el Kg.) y presenta dificultades para la adquisición en las cantidades requeridas.

La primera operación a considerar la constituye el almacenamiento de la materia prima. La granulometría del material a utilizar (ver Capítulo III) determina como más conveniente el almacenamiento en silo. Del silo pasan los concentrados a someterse a un proceso de desulfuración, o sea una tostación parcial, que elimina la mayor parte del azufre presente en el material. En esta forma se obtiene un producto con un 66 - 72% de ZnO y un 20 - 23% de ZnS, del que por posterior lixiviación con ácido sulfúrico se consigue la solución de sulfato.

Hay otro procedimiento de obtención del sulfato de zinc a partir de los concentrados de blenda. Este consiste en un proceso de tostación sulfatante, en que el sulfuro de zinc es oxidado cuidadosamente a sulfato según la siguiente ecuación:



Este proceso para tener un buen rendimiento requiere:

- a) Estricto control de temperatura y presión.
- b) Control de la humedad del aire introducido al proceso.

Información detallada sobre procesos de tostación sulfatante para diferentes minerales sulfurados, es dada por el "Handbook of Chemical Engineering" de Liddell. En el presente caso la capacidad de producción elegida no justifica económicamente el proceso de tostación sulfatante, a pesar de, la economía que en ácido sulfúrico representa, y el elevado precio de dicho ácido en el mercado.

El proceso de tostación se realiza en la industria de varias maneras:

- a) Tostación de minerales o concentrados en montón o pila.

Este es un método sencillo pero poco eficiente y requiere además de gran área de terreno, ya que para tostar 10 toneladas diarias hay que disponer de una hectárea.

b) En hornos de reverbero de solera plana, tanto rectangular como circular, rastrillando el mineral a mano o mecánicamente.

c) En horno cilíndrico rotatorio ligeramente inclinado, para el proceso continuo; u horizontal en proceso discontinuo, empleado en escala pequeña.

d) En hornos verticales con estantes o pisos múltiples y rastrillado mecánico, de los tipos Mc Dougall, Nichols-Herreshoff y Wedge.

e) Con soplado, impulsando aire a través de una delgada capa de mineral sobre un enrejado en movimiento.

f) En hornos de Fluo-Sólidos.

La capacidad de producción y régimen de trabajo elegidos de terminan el empleo de un horno de reverbero del tipo denominado de tostación a mano.

La temperatura del proceso varía de acuerdo al contenido de óxido de hierro y sílice de los concentrados. Para el material cuyo análisis se dió en el Capítulo III se puede asumir esta temperatura en 500°C.

La reacción principal del proceso es:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 105.6 \text{ Kcal./gmol.}$$

$$K_p = \frac{(p_{\text{SO}_2})}{(p_{\text{O}_2})^{1.5}}$$

Las reacciones secundarias son:

a) Oxidación de los sulfuros de los metales que impurifican la blenda. En el caso presente estos metales son: hierro, plomo y cobre.

b) Formación de pequeñas cantidades de sulfato de zinc que luego se descomponen de acuerdo a la siguiente reacción:



El material descargado del horno, llamado calcina, es colocado en carritos y llevado a las pozas de lixiviación. Antes de efectuarse la lixiviación se deja enfriar la calcina en las pozas secas. Para regular la diferencia entre el régimen de trabajo del horno y las pozas se tiene una cancha auxiliar de enfriamiento donde se conduce la calcina producida por el horno en días feriados no laborables. Este material se saca de la cancha para la alimentación de las pozas cuando el horno está en reparación.

La calcina fría es sometida a lixiviación, con las cantidades requeridas de agua y ácido sulfúrico. Las reacciones que tienen lugar durante el proceso son:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 44.57 \text{ Kcal/gmol.}$$



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 1.49 \text{ Kcal/gmol.}$$

La solución de sulfato de zinc así obtenida es ácida y requiere ser neutralizada exactamente. Para ello pasará a las pozas de depuración donde además se le despojará del hierro y otros metales pesados que la impurifican. Suele recomendarse carbonato o hidróxido de sodio para la neutralización. Para la precipita-

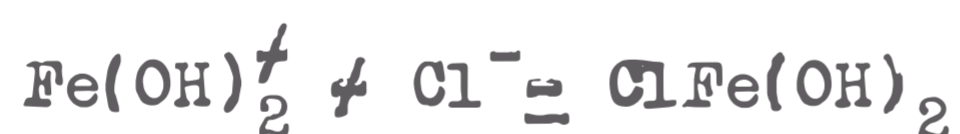
ción del hierro hay muchos métodos propuestos, algunos de ellos son:

- a) Por empleo conjunto de permanganato y clorato de potasio.
- b) Por reacción con hipoclorito de sodio.
- c) Mediante la pirolusita ( $MnO_2$ ).
- d) Por la acción de determinados cloruros como el de calcio y el de sodio en medio alcalino.
- e) Con lechada de cal.

De todos éstos, el último es quizás el menos recomendable pero tiene la ventaja de ser doblemente económico, ya que el hidróxido de calcio se usa también como agente de neutralización. En este caso la reacción de precipitación es:



Aquí se tiene la desventaja de la formación de  $Fe(OH)_2$  coloidal que ha de ser coagulado. Este inconveniente se salva adicionando cloruro, que producirá la neutralización de la carga del colóide determinando su precipitación:



Concluida la precipitación del hierro, se efectuará la de los metales pesados por medio de zinc en polvo. El mecanismo de esta precipitación se basa en la mayor tendencia de ionización del zinc con respecto a los metales pesados a los que desaloja de sus sales haciéndolos precipitar.

El siguiente paso es la filtración de la solución. Para ello se toma la solución de las pozas mediante una bomba y se hace pasar a través de un filtro prensa. Posteriormente la solu-

Ción es almacenada en un depósito, desde el que será alimentada a los tanques reactores para la coprecipitación del litopón.

Obtención del litopón y operaciones de acabado.

El primer paso en la obtención del pigmento es el proceso de coprecipitación. Este tiene lugar en mezcladores, que son cubas de madera provistas de agitador. La fábrica tendrá dos de estos mezcladores, cuyo trabajo efectivo será de 3 Horas/cuba, desarrollado dentro de una guardia de 8 horas diarias. El proceso se realiza en la siguiente forma: se llena el mezclador hasta 5/8 de su altura con lejía de sulfuro de bario, dejando entrar, agitando simultáneamente, solución de sulfato de zinc. Un exceso de sulfuro de bario se reconoce tocando una prueba con una gota de cloruro de hierro en medio alcalino, se tiene entonces un precipitado negro debido al sulfuro férrico formado de acuerdo a la siguiente ecuación:



Si se ha efectuado la precipitación del litopón, una prueba del filtrado debe dar con cloruro de bario un escaso precipitado de sulfato de bario, debido a que en el proceso se emplea un ligero exceso de sulfato de zinc:



Las pruebas descritas constituyen un efectivo control para el proceso.

La reacción principal del proceso es la expresada por la tan conocida ecuación:



Sin embargo esta es la ecuación total, ya que en la realidad ocurren una serie de reacciones intermedias que tienen como resultado final la precipitación de los iones  $Ba^{++}$  y  $Zn^{++}$  en las respectivas formas de sulfato y sulfuro. Además en el precipitado se tendrá sulfato de sodio, cloruros y sales de metales pesados debido a una curiosa propiedad que presenta el sulfato de bario durante la precipitación, cual es la tendencia a coprecipitar sales solubles. La intensidad de este fenómeno es proporcional a la concentración en  $Ba^{++}$  de la solución. Esta es la razón por la que se efectúan las precipitaciones de impurezas de la solución de sulfato de zinc. Las sales solubles que impurifican al litopón bruto serán eliminadas en su mayor parte en posteriores lavados.

En los mezcladores se suele adicionar colioide. La presencia de colioide durante la precipitación ha de mejorar la propiedad de cubrimiento del pigmento. En nuestro caso el colioide más apropiado es la cola a la caseína líquida.

Antes de separar el precipitado del líquido sobrenadante se añade a éste de 0.5 a 1.0% de una mezcla de magnesia y cloruro de sodio recientemente preparada.

El litopón bruto es luego sometido a una serie de operaciones de acabado, que aquí se indican:

- a) 1a. Decantación y lavado en una batería de 3 tanques en contracorriente.
- b) 2a. Filtración y lavado, que generalmente se realiza en filtros prensa (Chem. & Met. Flow sheet, reproducido por Shreve).
- c) 3er. Secado. Comúnmente se efectúa en hornos de túnel



- d) Calcinación en mufla rotatoria.
- e) Temperado del pigmento por enfriamiento brusco con agua.
- f) Molienda húmeda de 12 a 24 horas hasta 4.5%  $\pm$  350 mesh.
- g) 2<sup>a</sup>. Decantación y lavado.
- h) 2<sup>a</sup>. Filtración y lavado. Según la escala de producción se usan o filtros tipo Oliver, o filtros prensa de los tipos Shriver y Sperry.
- i) 2<sup>a</sup> Secado. Los aparatos más recomendados para esta operación son los secadores de tambor Blaw-Knox. También se pueden emplear secadores rotarios; de túnel; y de circulación forzada.
- j) Molienda y seco, y clasificación por aire.
- k) Envasado, almacenamiento y envíos.

Conviene puntualizar algunos detalles relativos a la calcinación y temperado del pigmento. El material proveniente del ler. secado es sometido a una trituración, que da un producto cuya granulometría está comprendida entre mallas 8 y 18. Luego se mezcla con un 3% de su peso de cloruro de amonio y se carga al horno de calcinación. La calcinación tiene lugar a 725°C (temperatura del rojo sombra) por 10 ó a lo más 15 minutos. Es de gran importancia no excederse en el calentamiento y procurar en lo posible la exclusión del aire durante la operación, ya que así se evitará la conversión del sulfuro de zinc en el óxido correspondiente. Seguidamente se realiza el temperado. Para ello el producto extraído del horno, aún caliente es introducido a un tanque de enfriamiento con agua. El tanque puede ser de hierro fuertemente zincado o de madera revestida con plomo. Según algunos autores en el proceso de la calcinación se obtienen cristales

del tamaño óptico debido para garantizar el poder de cubrimiento y con el temperado posterior se consigue la extremada finura del pigmento. Hay también quienes afirman que con el temperado el litopón adquiere propiedad de cubrimiento que antes no tenía.

Concluido el temperado se procede a una molienda húmeda en caliente (140° a 150°F) de 12 a 24 horas en molino de palas o balas de porcelana o sílice, en circuito con clasificador y un hidroseparator. Perry op. cit. en la página 937 cita una tabla con datos prácticos obtenidos en una de las plantas americanas de molienda de litopón, que aquí se reproduce:

	Dilución agua a sólidos	% $\neq$ 350 mesh
Alimentación al molino de tubo	1.5:1	7.0 (').
Descarga del molino de tubo	3.5:1	4.5
Clasificador (material en suspensión)	10.0:1	2.6
Hidroseparator (material en suspensión)	20.0:1	0.25

(') En el presente caso varían las condiciones de alimentación al molino y la dilución de agua a sólidos para los diferentes pasos de la operación; no ocurre lo mismo con las especificaciones relativas a la granulometría.

Es recién después de la molienda en húmedo que el litopón adquiere su blancura completa. Durante esta molienda se mezcla el litopón con azul de ultramar, que es uno de los agentes empleados para garantizar la blancura del pigmento. El porcentaje de ultramar empleado para lograr el propósito deseado es un 0.02% del peso del pigmento.

Queda por mencionar la molienda final del pigmento. Esta se

realiza, previa mezcla del litopón con una cantidad de cloruro de calcio equivalente a un 0.03% de su peso, hasta 99% - # 325, en un molino Raymond tipo "ring roller" provisto de un sistema de clasificación por aire. Finalmente el pigmento se envasa en bolsas de 100 lbs. y queda listo para ser librado a la venta.

### Control de procesos y de calidad del producto

El organismo esencial de control del trabajo de la fábrica lo constituye el laboratorio. En él se realizan pruebas de naturaleza física y química de acuerdo a métodos estandarizados cuyos resultados constituyen un buen bagaje de información para la regulación del trabajo de la fábrica dentro de los límites requeridos para obtener un producto de calidad garantizada.

La cédula de trabajo del laboratorio está orientada al cumplimiento de esta doble función de control. Esta cédula comprende las siguientes tareas:

#### 1.- Análisis químicos:

a) Determinación del azufre en la forma de sulfuro para los siguientes materiales y productos en proceso o terminados:

Concentrados de blenda.

Sulfuro de bario "black ash".

Lejía de sulfuro de bario corregida.

Calcina del horno de reverbero.

Litopón bruto.

Litopón acabado.

b) Determinación del bario en la forma de sulfatos:

Baritina.

Litopón acabado.

c) Determinación del bario en forma de sales insolubles (carbonato y sulfato) en los residuos sólidos de lixiviación del BaS.

d) Determinación del hierro total expresado como la suma de óxido férrico más hierro debido a contaminación.

Baritina.

Antracita.

Concentrados de blenda.

e) Determinación del hierro en la forma de  $Fe^{+++}$ .

Acido sulfúrico.

Solución de sulfato de zinc.

f) Determinación del zinc por el método de Low.

Concentrados de blenda.

Solución de sulfato de zinc.

g) Determinación de sales solubles (cloruros, sulfatos solubles, etc).

Sales solubles coprecipitadas en el litopón bruto.

Sales solubles en las aguas residuales.

h) Determinación de componentes secundarios e impurezas industriales en el litopón acabado. Los componentes secundarios que se incorporan durante los procesos y operaciones de fabricación son: óxido de zinc, carbonato de zinc, oxisulfato de zinc, sulfato de zinc, carbonato de bario y sulfuro de bario. Las impurezas industriales, introducidas con las materias primas, en su mayor parte, son: el óxido de hierro, óxido de aluminio, óxido de calcio, ó xido de magnesio, algunos metales y además el carbón (Uhlmann op. cit. tomo III, pág 566).

2.- Ensayos de carácter físico.

a) Determinación de peso específico

Baritina.

Litopón bruto.

Litopón acabado.

b) Gravedad específica de líquidos y soluciones:

Acido sulfúrico.

Lejía de sulfuro de bario.

Solución de sulfato de zinc.

c) Granulometría:

Baritina.

Concentrados de blenda.

Litopón bruto después de la trituración posterior al primer secado.

Litopón sometido a molienda en húmedo. Se tomarán 4 muestras, a saber: alimentación y descarga del molino; material en suspensión del clasificador e hidroseparador.

Litopón acabado.

d) Determinaciones de humedad:

En materias primas: baritina, antracita y concentrados.

Material descargado de los secadores.

Litopón acabado.

e) Determinaciones específicas para antracita: porcentajes de material volátil y cenizas; prueba de friabilidad; prueba de fusibilidad de la ceniza.

f) Pruebas específicas para el litopón acabado: resistencia a la luz, índice de refracción, poder de cubrimiento, compatibilidad con los ligantes, tixotropía de las pinturas, etc.

## Análisis del litopón acabado.

Con muestras de baritina y concentrados de zinc suministradas por cortesía de Peruvian Chemical Industries y Hostchild y Cía (Departamento de minerales), respectivamente, se preparó litopón en el laboratorio de la Facultad.

Las variantes que se introdujeron con respecto al procedimiento de fabricación elegido son:

- a) Se empleó charcoal en lugar de antracita, como agente reductor de la baritina.
- b) La reducción de la baritina se realizó en una mufla eléctrica.
- c) La tostación de los concentrados se efectuó en crisol de porcelana sobre baño de arena, en una ventana conectada al tiro del laboratorio.
- d) Se utilizó el ácido sulfúrico comercial del laboratorio.
- e) Las filtraciones se hicieron al vacío utilizando un "gooch" de porcelana y papel filtro tupido.
- f) Después del temperado se filtró y secó el litopón y luego se molió en mortero de porcelana.

Una muestra de baritina alba de Chosica arrojó el siguiente análisis:

BaSO <sub>4</sub> .....	98.6%
CaO y MgO .....	0.5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0.4%
SiO <sub>2</sub> .....	0.4%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0.1%
Total .....	100.0%

Esta muestra junto con concentrados de blenda de Pisco, se emplearon para la preparación experimental del laboratorio. El análisis de la muestra de concentrados citada es el siguiente:

Zn	.....	60.07%
Pb	.....	1.70%
Fe	.....	2.65%
S	.....	32.36%
As	.....	0.08%
Sb	.....	0.09%
Mn	.....	0.09%
MgO	.....	trazas
CaO	.....	0.52%
SiO <sub>2</sub>	.....	1.52%
Oro y plata expresados en onzas por tonelada corta.		

Para el litopón, así preparado, se obtuvo el análisis que a continuación se da:

ZnS	.....	27.9%
ZnO	.....	1.7%
BaSO <sub>4</sub>	.....	68.6%
Cloruros	.....	0.7%
No determinados	.....	1.1%
Total	.....	100.0%

Residuos industriales.- Su posible aplicación.

De acuerdo al estado físico podemos hacer la clasificación de los residuos de la fábrica:

a) Materiales sólidos:

Residuos de la lixiviación del sulfuro de bario.

Residuos de la lixiviación de la calcina.

Residuos del proceso de depuración de la solución de sulfato de zinc.

b) Residuos líquidos:

Aguas residuales de lavado de las operaciones de decantación y filtración.

Solución residual separada de las cubas de precipitación.

c) Productos gaseosos:

Humos de los hornos de proceso y del caldero.

Hidrógeno sulfurado desarrollado en las lixiviaciones.

Los residuos de la lixiviación del BaS, que se separan por decantación, contienen de un 60 a 65% de carbonato de bario, aprovechable para la fabricación de blanco fijo y sales de bario. Un procedimiento para la utilización ventajosa de estos residuos estaría integrado por los siguientes pasos:

a) Lixiviación con HCl al 10%.

b) Depuración de la solución, para precipitar el hierro.

c) Una vez purificada la solución puede tratarse una parte con ácido sulfúrico para la obtención del blanco fijo; mientras la otra porción de solución puede pasar a concentración y posterior cristalización para obtener cloruro de bario, empleado como desin-



crustante en las calderas de vapor, y en pirotecnia para obtener luces verdes.

Los residuos de la lixiviación de la calcina están constituidos principalmente por sulfato de plomo. Este material podría venderse a una fundición por constituir el plomo un 50% a 55% de su peso.

La utilización de los residuos líquidos en la fábrica se explicará detalladamente en el Capítulo V.

Los productos gaseosos carecen de utilización inmediata. Los humos que contengan  $\text{SO}_2$  ó  $\text{H}_2\text{S}$  deben ser tratados para no contaminar el aire de los alrededores de la fábrica. De esto también se hablará posteriormente en forma concreta.

## CAPITULO V

### CALCULOS TECNICOS

SUMARIO.- Cálculos generales de operaciones y procesos unitarios. Sumario de balance de materias. Cuadro de materias primas requeridas. Abastecimiento de agua. Cálculo del combustible requerido. Sumario de balance de calor. Energía mecánica requerida. Balance general de energía. Cuadro de distribución del tiempo. Cuadro de mano de obra requerida. Relación de equipo industrial. Distribución de equipo e instalaciones. Area de terreno. Cálculos de construcción general.

**A.- CALCULOS GENERALES DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS**

Para facilitar el desarrollo y la exposición de los cálculos se considerará la fábrica integrada por tres secciones, a saber:

Sección N° 1.- Obtención de la lejía de sulfuro de bario.

Sección N° 2.- Obtención de la solución de sulfato de zinc.

Sección N° 3.- Obtención del litopón y operaciones de acabado.

Antes de entrar de lleno a la consideración de los problemas técnicos conviene hacer hincapié que en este acápite, de cálculos generales, se hace un análisis detallado para cada operación y proceso, comprendiendo balances parciales de materias y energía calórica; y diseño y especificación del equipo requerido. En oportunidades algunas operaciones muy sencillas son pasadas por alto; el equipo empleado por ellas se citará posteriormente en el acápite de relación de equipo industrial.

En estos cálculos generales se ha dedicado mayor atención a los procesos de horno, ya que como lo reconocen Jonhstone y Thring en su obra "Pilot Plants Models and Scale - Up Methods" (1957), el cálculo y operación de hornos presenta muchos problemas complejos que carecen de una solución no solamente exacta, sino aún aproximada por medios matemáticos. La solución del problema se logra consiguiendo información técnica de la experimentación con hornos en trabajo actual o mediante el empleo de modelos. Los modelos se utilizan como ayudas al cálculo de nuevos hornos y en el estudio de instalaciones existentes para mejorar su eficiencia. No siendo fácil el experimentar con modelos, se decidió buscar resultados

experimentales en la literatura técnica. Los cálculos se realizaron pues sobre la base de autores como Perry, Trinks, Bray, Kirk y Othmer; y una serie de artículos publicados en la revista Chemical Engineering por varios investigadores americanos.

- • -

Sección N° 1.- Proceso de reducción de la baritina.

a) Balance preliminar de material.- Base de cálculo: 1,000 Kgrs. de baritina procesada.

Nota.- Las cifras de este balance son válidas para 1,000 lbs. de baritina procesada.

Dividir por 1,000 en el caso de trabajar sobre la base de 1.0 T.M. ó 1.0 tonelada corta.

Cálculo de la antracita requerida:



$$X = 24 \times 955.7 / 233.43 \times 0.8288 = 119 \text{ Kgrs.}$$

$$\text{Exceso del 5\%} = \text{aproximadamente } 6 \text{ Kgrs.}$$

$$\text{Carga práctica de antracita} = 125 \text{ Kgrs.}$$

Relación de la carga del horno.-Baritina:

Componente	Kgrs.	Kgmol.
BaSO <sub>4</sub> .....	955.70	4.100
CaO .....	8.90	0.160
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8.90	-
SiO <sub>2</sub> .....	4.90	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1.00	0.0063
Fe° (contaminación) .....	0.30	0.0054
MgO, sales, y otros .....	1.00	-

Baritina (Continuación).

Componente	Kgrs.	Kgmol.
Humedad .....	19.60	1.090
<b>Total</b> .....	<b>1,000.30</b>	

Antracita:

Carbón fijo .....	103.50	8.600
Materia volátil .....	7.70	
Humedad .....	3.90	0.215
Ceniza .....	9.90	-
Fe° (contaminación) .....	0.13	0.0023
<b>Total</b> .....	<b>125.13</b>	

Cenizas de antracita:

SiO <sub>2</sub> .....	5.75	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0.60	0.0038
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3.15	-
MgO .....	0.05	-
KNaO .....	0.35	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0.02	-
<b>Total</b> .....	<b>9.92</b>	

Material adicional:

NaCl .....	12.50	0.214
Agua .....	100.00	5.550
<b>Total</b> .....	<b>112.50</b>	

## Análisis global de la carga del horno:

Componente	Kgmol.	Kgrs.	% por peso.
Sulfato de bario	4.100	955.70	77.20
Carbón fijo	8.600	103.50	8.37
Humedad total	6.855	123.50	9.96
Cenizas		34.62	2.81
Materia volátil		7.70	0.62
NaCl (catalizador)	0.214	12.50	1.01
Fe° (contaminación total).	0.0077	0.43	0.03
Totales		1,237.95	100.00

## Análisis total de cenizas:

SiO <sub>2</sub>	-	10.65	30.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0101 Kgmol. 0.0202 Kgatom.	1.60	4.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		12.05	34.80
CaO		8.90	25.70
MgO y otros	-	1.42	4.10
Totales		34.62	100.00

Rendimiento del proceso.- De acuerdo con Rivera y Kirk & Othmer se obtendrá un material con un porcentaje de sulfuro de bario comprendido entre el 80 y 90%. En este caso se asumirá tener en la escala industrial un material de descarga que posea el siguiente análisis:

Componente	Kgmol.	Kgrs.	% por peso.
Sulfuro de bario	3.700	625.00	83.00
Carbonato de bario	0.365	72.00	9.60
Sulfato de bario	0.035	8.15	1.08
Cloruro de sodio	0.214	12.50	1.66
Carbón	0.017	0.20	0.03
Cenizas		35.27	4.63
Totales		753.12	100.00

Material que sale con los humos:

$$1,237.95 - 753.12 = 484.83 \text{ Kgrs.}$$

Comprobación de esta cifra:

	Kgmol.	Kgrs.
Humedad .....	6.855	123.50
Carbón .....	8.218	98.50
Oxígeno .....	7.618	244.00
Azufre .....	0.402	12.85
H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> y Compuestos volátiles .....		5.37
Total .....	-	484.22

Nota.- Como con los humos del proceso salen los gases de combustión, el análisis de los humos se hará más adelante, previo cálculo de la cantidad de combustible.

b) Cálculo de las dimensiones del horno.

Cantidad de material a tratar:

$$2600 \times 0.85/300 = 7.35 \text{ T.M./día} = 8.10 \text{ ton. c./día.}$$

Factores utilizados en la determinación de la capacidad del horno:

$$F_V = \frac{4,000 \pi}{p \left[ \left( \frac{\pi}{2} - b \right) - \text{sen } 2b \right]} \quad \text{ft}^3/\text{ton. c./día}$$

$$F_Q = \frac{nC}{DL} \quad \text{Btu/lb.}$$

Donde:  $p$  = peso específico de la carga en  $\text{lb}/\text{ft}^3$ .

$b$  = ángulo denominado "de rozamiento", es función del coeficiente de rozamiento dinámico del material, para una velocidad de rotación dada. Este ángulo se expresa en radianes.

$D$  = diámetro externo del horno, expresado en ft.

$L$  = longitud del horno, expresada en ft.

$n$  y  $C$  son constantes a las condiciones especificadas para la operación del horno.

Estos factores son denominados "Short - cut" en la literatura técnica. Algunos valores, entre los que están los correspondientes a la baritina, basados en BaS como producto de reacción, se dan en Perry op. cit. pág 1611, tabla N° 13. Estos son:

$$F_V = 40 - 90 \text{ ft}^3/\text{ton. c./día.}$$

$$F_Q = 904 \text{ Btu/lb.}$$

Para el cálculo del volumen del horno se tomará un  $F_V$  intermedio, tal como  $60 \text{ ft}^3/\text{ton. c./día.}$

Volumen interior del horno:  $8.10 \times 60 = 485 \text{ ft}^3$ .

Dimensiones del horno:

Diámetro interno:  $5' 00''$

Longitud:  $485 \times \frac{4}{\pi} \times 5^2 = 25' 00''$

Espesor de refractario:  $06'' = 0.5'$



Espe~~s~~or de la chapa de hierro: 1/2"

Diámetro externo: 6' 01".

c) Selección del combustible.- Se empleará combustible líquido en razón de su comodidad y economía. En el mercado se tienen las siguientes clases de este tipo de combustibles industriales:

Aceite Combustible N° 5 (F.O.5)

Aceite Combustible N° 6 (F.O.6)

Aceite Diesel Pesado (H.D.)

El más conveniente es el F.O.5 por las siguientes razones:

1.- Tiene un punto de fluidez (pour point) más bajo que los otros:

F.O.5	≠ 15°F.	(-9.5°C).
H.D.	≠ 45°F.	(≠ 7.0°C).
F.O.6	≠ 50°F.	(≠ 10.0°C).

2.- Tiene mayor poder calorífico neto lo que permite obtener con él mayor temperatura de llama y consiguientemente una mayor eficiencia térmica por unidad de peso de combustible quemado.

3.- Con relación al F.O.6 tiene la ventaja de poseer un porcentaje de sedimentos considerablemente menor, lo que se traduce en una mayor comodidad de manipulación y en una instalación menos costosa.

d) Características del F.O.5

Análisis elemental:

H <sub>2</sub> O	.....	0.30%
C	.....	87.50%
	.....	11.30%

Análisis del F.O.5 (continuación).

.....	0.10%
Cenizas y no deter- minados (N <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub> ; etc).	0.80%
Total .....	100.00%

Punto de fluidez:  $\neq$  15°F

Gravedad API: 19.5<sup>a</sup>

Peso específico: 7.8 lb/U.S. gal.

Poder calorífico total: 19,200 Btu/lb.

Poder calorífico neto: 18,140 Btu/lb.

e) Cálculo de la temperatura adiabática de llama.

Base de cálculo: 1 lb. de combustible quemado.

Tabla de combustión

Elementos	lbs.	lbmol.	productos de combustión.	O <sub>2</sub> teórico.
	0.875	0.073	CO <sub>2</sub>	0.073
H <sub>2</sub>	0.113	0.056	H <sub>2</sub> O	0.028
			Total de oxígeno teórico	0.101

Cantidad de nitrógeno:  $0.101 \times 79/21 = 0.380$  lbmoles.

Peso de aire requerido teóricamente:

$$(0.101 + 0.380) \times 29 = 13.90 \text{ lbs.}$$

Vapor de agua en el aire:

$$0.014 \times 0.62 \times 13.90 = 0.12 \text{ lbs.} = 0.007 \text{ lbmol.}$$

Análisis de los gases producidos por la combustión:

	lbmol.	% vol.
CO <sub>2</sub> .....	0.073 .....	14.20
H <sub>2</sub> O .....	0.063 .....	12.20

Continuación del análisis de los gases de combustión

	lbmol.	% vol.
.....	0.380	73.60
Totales .....	0.516	100.00

La temperatura buscada se determina por la siguiente ecuación:

$$P.C.N. = \sum H_{\text{productos}} \quad (\text{Perry op. cit. pág 1588; Hougén \& Watson págs 354-356}).$$

Entalpía de productos referida a 25°C:

CO<sub>2</sub>:

$$H = 0.073 \left[ 6.339(T - 298) + \frac{0.00014(T^2 - 298^2)}{2} - \frac{3.415}{3} \times 10^{-6} (T^3 - 298^3) \right]$$

H<sub>2</sub>O:

$$H = 0.063 \left[ 7.136(T - 298) + \frac{0.00264(T^2 - 298^2)}{2} + \frac{0.0459}{3} \times 10^{-6} (T^3 - 298^3) \right]$$

N<sub>2</sub>:

$$H = 0.380 \left[ 6.457(T - 298) + \frac{0.00139(T^2 - 298^2)}{2} + \frac{0.069}{3} \times 10^{-6} (T^3 - 298^3) \right]$$

Sumando términos y sustituyendo valores en la ecuación anteriormente propuesta se tiene:

$$18,140 \times 0.252 = 3.360 T + 0.719 \times 10^{-3} T^2 - 0.091 \times 10^{-6} T^3 - 1,040$$

Ecuación que al ser resuelta da:

$$T = 1320 \text{ °K } (1047 \text{ °C } \text{ ó } 1930 \text{ °F})$$

Efecto del exceso de aire sobre la temperatura de llama:

Exceso de aire sobre el requerido, % de exceso.	Temperatura adiabática de llama.
5 .....	1300 °K ..... 1892 °F
10 .....	1275 °K ..... 1832 °F
15 .....	1250 °K ..... 1792 °F
20 .....	1220 °K ..... 1742 °F

f) Calor requerido por las reacciones.- Se considera que sólo dos reacciones tienen lugar en proporción de importancia, siendo las otras reacciones de carácter muy secundario y con conversiones de un orden de magnitud inferior. Las reacciones a considerar son:

1- Formación de sulfuro de bario:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = + 56.1 \text{ Kcal/gmol.}$$

Calor requerido por kilo de baritina procesada:

$$56.1 \times 3.7 = 208 \text{ Kcal.}$$

$$= 825 \text{ Btu.}$$

Esta cifra equivale a 375 Btu/lb. de baritina.

2- Formación de carbonato de bario. Ocurre en dos etapas:



$$\Delta H_{25^\circ\text{C}} = - 162.2 \text{ Kcal/gmol.}$$

Calor obtenido de la formación de carbonato:

$$162.2 \times 0.365 = 59 \text{ Kcal/Kg baritina.}$$

$$= 234 \text{ Btu/Kg baritina.}$$

Esta cifra equivale a 106.5 Btu/lb. de baritina.

Calor total requerido por las reacciones a 25°C:

$$825 - 234 = 591 \text{ Btu/Kg. de baritina.}$$

$$= 268.5 \text{ Btu/lb. baritina.}$$

Para obtener la entalpía total de reacciones a la temperatura de reacción es necesario adicionar los términos de calor sensible y latente que a continuación se indican:

1- Calor empleado en elevar la temperatura de la baritina.

2- Calor empleado en elevar la temperatura de la antracita.

3- Calor empleado para elevar la temperatura del catalizador (NaCl).

4- Calor latente de evaporación de la humedad de la carga del horno.

La temperatura de reacción será  $650^{\circ}\text{C}$  ( $1200^{\circ}\text{F}$ ).

Los calores específicos medios son:

antracita:  $0.370 \text{ Kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$

baritina:  $21.35 + 1.41 \times 10^{-2} T_R \text{ Kcal/kgmol } ^{\circ}\text{K}$

NaCl:  $10.79 + 4.20 \times 10^{-3} T_R \text{ Kcal/kgmol } ^{\circ}\text{K}$

El calor latente de ebullición del agua a  $100^{\circ}\text{C}$  es de  $537 \text{ Kcal/Kg}$

Sustituyendo estos valores en la ecuación:

$Q' = E_{mc}\Delta T + mhL$  se tendrán los siguientes valores:

$$Q' = 156 \text{ Kcal/Kg baritina.}$$

$$= 615 \text{ Btu/ Kg baritina.}$$

$$= 280 \text{ Btu/ lb baritina.}$$

Calor total requerido por las reacciones a  $650^{\circ}\text{C}$ :

$$591 + 615 = 1,206 \text{ Btu/Kg. baritina.}$$

$$= 550 \text{ Btu/lb. baritina.}$$

g) Estimado del régimen de trabajo del horno.

Primero se calculará el tiempo de pasada del material. Este se determina de la ecuación de Sullivan, Maier & Ralston:

$$\theta = zL/ND'S$$

donde:  $\theta$  = tiempo en minutos.

$$z = 0.0037(b + 24)$$

$b$  = ángulo de rozamiento del material a las condicioo

nes de trabajo del horno. En este caso  $b = 35.7^\circ$ .

$L =$  longitud del horno en pies.

$N =$  relación de rotación en rpm. Según Luethge (Chemical Engineering, Diciembre 1951, págs 151-153),

$N = W_m / K' \times D'^3$ , aquí se tiene:  $W_m = 12.2$  ton/día.

$K' = 0.2$

$D' = 5.0$  ft.

Con estas cifras  $N$  es aproximadamente  $0.5$  rpm.

$S =$  pendiente del horno expresada en ft/ft. Para este caso se toma  $3/8$  in./ft., o sea:  $1/32$  ft/ft.

Sustituyendo valores en la ecuación propuesta se tiene:

$$\theta = \frac{0.0037(35.7 - 24) \times 25}{0.5 \times 5 \times 1/32} = 71 \text{ minutos.}$$

El tiempo del proceso varía dentro de ciertos límites determinados por las velocidades de alimentación permisibles. Un método indirecto de cálculo sería la determinación del tiempo necesario para el calentamiento del horno. Luego se restaría esta cifra de 8 horas. Sin embargo la determinación directa del tiempo de calentamiento no es un asunto sencillo como puede parecer a primera consideración. En efecto, los métodos posibles para lograr este propósito son:

1- Por integración de la ecuación diferencial de 2° orden:

$$dt/d\theta = (d^2t/dx^2)P$$

donde:  $t =$  temperatura.

$\theta =$  tiempo.

$x =$  espesor de pared.

$P =$  parámetro que depende de las propiedades físicas del material que constituye las pare-

des del horno.

2- Por el método de integración gráfica de Schmidt, basado analíticamente en las series de Fourier. Este método del que hacen mención Trinks y Kern, se complica en el caso presente por tenerse un área variable al paso del calor.

3- Por el método de Gurney y Lurie, asumiendo el horno com puesto por un número infinito de elementos, para los que hay valores tabulados. Los gráficos correspondientes se pueden encontrar en cualquier tratado moderno de transmisión de calor. El ma nual de Perry tiene cuatro de estos gráficos en la página 462 de su tercera edición.

Descartados estos engorrosos métodos, el tiempo de calenta miento se calculará indirectamente, asumiéndolo primero y deter minándolo luego por un reajuste de los cálculos. Otro tanto se hará para fijar el tiempo del proceso; mejor dicho del horno en proceso. De acuerdo al diseño del horno este tiempo, función de la alimentación, varía como ya se dijo entre ciertos límites, que ahora se van a determinar:

Carga a ser tratada por día:

Baritina ..... 7,350 Kgrs.

Antracita ..... 920 Kgrs.

Otros ingredientes ... 825 Kgrs.

Total ..... 9,095 Kgrs. = 9.1 T.M. = 10.0 ton.

Volumen de la carga:  $10.0 \times 2,000 / 3.84 \times 62.4 = 83.5 \text{ ft}^3$ .

Volumen de la carga en el horno.- Perry especifica que esta cifra varía en la práctica del 3 al 12% del volumen del horno

(pág. 1009). Según esto los límites buscados serán:

$$83.5 \times 71/0.03 \times 485 = 408 \text{ minutos} = 6\text{h } 48'$$

$$83.5 \times 71/0.12 \times 485 = 102 \text{ minutos} = 1\text{h } 42'$$

Se tomará un promedio de 4h 00' como tiempo del horno en proceso. Luego el tiempo de calentamiento será también de 4h 00'.

Velocidad de alimentación al horno:  $10.0 \times 2,000/4 = 5,000 \text{ lb/hr}$

h) Calor requerido para alcanzar el régimen estacionario.-Esto se verá más adelante, luego de haber calculado la cámara de combustión.

i) Pérdidas de calor a través de las paredes del horno

La ecuación de Fourier establece:

$$q = \Delta t / ER$$

Para el refractario  $R' = x' / K' A_m'$

donde:  $x' = 6'' = 0.5'$

$$A_m' = (\hat{A}_e - \hat{A}_i) / 2.3 \log A_e / A_i = 433 \text{ ft}^2$$

$$K' = 0.62 \frac{\text{Btu/hr.ft}^2}{\text{°F/ft}}$$

Sustituyendo:

$$R' = 0.50 / 0.62 \times 433 = 0.0019 \text{ °F hr/Btu}$$

Para el hierro  $R'' = x'' / K'' A_m''$

donde:  $x'' = 1/2'' = 0.042'$

$$K'' = 36.00 \frac{\text{Btu/hr.ft}^2}{\text{°F/ft}}$$

$$A_m'' = A = \pi D e L = 470 \text{ ft}^2$$

$$\therefore R'' = 0.042 / 36.00 \times 470 = 0.25 \times 10^{-5} \text{ °F hr/Btu}$$

Por ser de menor orden de magnitud no se considerará  $R''$ .

Sustituyendo valores en la ecuación de Fourier:

$$q = (1,200 - 200) / 0.0019 = 525,000 \text{ Btu/hr.}$$

j) Calor radiado a través de aberturas



De momento se asumirá una temperatura actual de llama de  $850^{\circ}\text{C}$  ( $1560^{\circ}\text{F}$ ). Para estos cálculos se usarán los gráficos de las páginas 112 y 113 de la obra de Trinks, reproducidos por Perry op. cit. pág. 1601. Para la temperatura asumida el gráfico # 1 da  $50 \text{ Btu/in}^2 \text{ hr}$

$$1- \text{ Abertura de descarga: } 2 \text{ ft}^2 = 2 \times 144 = 288 \text{ in}^2$$

$$\text{Relación menor ancho/espesor de la pared} = 1/0.5 = 2$$

Del gráfico # 2 se obtiene:

$$\text{Factor de radiación total: } 0.73$$

$$\text{pérdida: } 50 \times 288 \times 0.73 = 10,500 \text{ Btu/hr.}$$

2- Tres aberturas de 16 in., una para el quemador, otra para el pirómetro, y una mirilla para el operador.

$$\text{Relación menor ancho/espesor de la pared} = 0.33/0.50 = 0.67$$

$$\text{Factor de radiación total: } 0.42$$

$$\text{Pérdida: } 3 \times 50 \times 16 \times 0.42 = 1,010 \text{ Btu/hr.}$$

3- Total de calor radiado a través de aberturas:

$$10,500 + 1,010 = 11,510 \text{ Btu/hr.}$$

k) Entalpía en el material de descarga del horno.

Calores específicos:

$$\text{BaS} = 0.074 \text{ Kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{BaCO}_3 = 0.152 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{NaCl} = 0.290 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Cenizas} = 0.364 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

Entalpías por kilo de baritina procesada referidas a  $15^{\circ}\text{C}$ :

$$\text{BaS} = 0.625 \times 0.074 \times (650 - 15) = 29.40$$

$$\text{BaCO}_3 = 0.072 \times 0.152 \times (650 - 15) = 6.95$$

$$\text{NaCl} = 0.013 \times 0.290 \times (650 - 15) = 2.39$$

$$\text{Cenizas} = 0.035 \times 0.364 \times (650 - 15) = 8.10$$

Entalpía total de descarga ..... 46.84 Kcal.

Esta cifra equivale a 188 Btu/kg. y a 84 Btu/lb de baritina.

1) Productos gaseosos desarrollados en la lixiviación del sulfuro de bario.

1- Cantidad de H<sub>2</sub>S desprendido.- Esto ocurre según las reacciones que a continuación se citan:



Con un kilo de baritina procesada se tienen 0.0002 Kgmol de NaCl, luego la cantidad de H<sub>2</sub>S producido por la primera reacción será 0.0001 Kgmol.

En la 2a. ecuación se asumirá una pérdida del 5% del azufre contenido en el BaS, en la forma de hidrógeno sulfurado. La cantidad así producida será:

$$0.05 \times 0.004 = 0.0002 \text{ Kgmol}$$

$$\text{H}_2\text{S total} = 0.0001 + 0.0002 = 0.0003 \text{ Kgmol/Kg de baritina.}$$

$$= 0.0003 \text{ lbmol/lb de baritina.}$$

$$= 0.010 \text{ lbs./lb. de baritina.}$$

2- Cantidad de vapor de agua:

$$188 \times 0.252/537 = 0.088 \text{ lbs/lb de baritina.}$$

$$= 0.0049 \text{ lbmol/lb baritina.}$$

m) Historial de los humos del horno:

Componentes	Procedencia			Moles totales
	Combustión	Reducción	Lixiviación	
CO <sub>2</sub>	0.073 X	0.0082	-	0.073X + 0.0082
H <sub>2</sub> O	0.063 X	0.0069	0.0052 (')	0.063X + 0.0121
H <sub>2</sub>	0.380 X	0.0006		0.380X + 0.0006

Continuación de la tabla de historial de humos del horno

Componentes	Procedencia.			Moles totales.
	Combustión	Reducción	Lixiviación	
SO <sub>2</sub>	0.3 x 10 <sup>-4</sup> X	0.0004	0.0003 (*)	0.3x10 <sup>-4</sup> X + 0.0007

donde: X = número de lb F.O.5/lb baritina procesada.

(\*) Cifras que comprenden los productos de la reacción:



Con la intención de comprobar la veracidad del cuadro anterior se hace un balance de oxígeno.

Base de cálculo: 1 libra de baritina procesada.

Entrada	
Oxígeno en el aire para la combustión .....	0.101X lbmol.
Oxígeno liberado de la carga del horno .....	0.0076
Total .....	0.101X + 0.0076

Salida	
Formación de CO <sub>2</sub> .....	0.73X + 0.0082
Formación de H <sub>2</sub> O .....	0.028X + 0.0002
Formación de SO <sub>2</sub> .....	0.3x10 <sup>-4</sup> X + 0.0007
Total .....	0.101X + 0.0091

Deficiencia de oxígeno: 0.0091 - 0.0076 = 0.0015 lbmol.

Lo cual indica la presencia de CO en los humos del horno.

Oxígeno en CO<sub>2</sub> y CO : 0.0082 - 0.0015 = 0.0067 lbmol.

Carbón en CO y CO: 0.0082 lbátomo.

Esta cuestión exige el planteo del siguiente sistema:

$$EC = a + b = 0.0082$$

$$EO_2 = a + b/2 = 0.0067$$

del que se obtienen los siguientes resultados:

$$a = 0.0052 \text{ moles de CO}_2$$

$$b = 0.0030 \text{ moles de CO.}$$

Humos obtenidos del proceso de una libra de baritina:

$$\text{CO}_2 = 0.073X + 0.0052 \text{ lbmol.}$$

$$\text{CO} = 0.0030 \text{ ,,}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.063X + 0.0121 \text{ ,,}$$

$$\text{N}_2 = 0.380X + 0.0006 \text{ ,,}$$

$$\text{SO}_2 = 0.3 \times 10^{-4} X + 0.0007 \text{ lbmol.}$$

n) ~~Entalpia~~ Entalpia de los humos.- Se estima la temperatura de salida de los gases en  $1300^\circ\text{F}$  ( $704^\circ\text{C}$ ). Perry indica que se puede tomar una cifra inferior en  $300^\circ\text{F}$  a la de la temperatura actual de llama, en este caso  $1560^\circ\text{F}$ , pero además tiene que haber un cierto margen de diferencia con respecto a la temperatura de descarga ( $1200^\circ\text{F}$ ). Por eso se toma  $1300^\circ\text{F}$  como la temperatura de salida de los humos.

Capacidades caloríficas molares medias de los gases entre  $60$  y  $1300^\circ\text{F}$ , expresadas en  $\text{Btu/lbmol}^\circ\text{R}$ :

$$\text{CO}_2 = 11.30$$

$$\text{CO} = 7.37$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8.82$$

$$\text{N}_2 = 7.30$$

$$\text{SO}_2 = 11.66$$

Entalpia de productos referida a  $60^\circ\text{F}$ .- Base: 1 lb. de baritina procesada.

$$\text{CO}_2 = (0.073X + 0.0052) 11.30 (1300 - 60)$$

$$\text{CO} = 0.0030 \times 7.37 (1300 - 60)$$

$$\text{H}_2\text{O} = (0.063X + 0.0121) 1692 \times 18 +$$

$$(0.063X + 0.0121) \times 8.82 (1300 - 60)$$

$$\text{N}_2 = (0.380X + 0.0006) \times 7.30 (1300 - 60)$$

$$SO_2 = (0.3 \times 10^{-4} \times 0.0007) 11.66 (1300 - 60)$$

Efectuando las operaciones indicadas se obtendrá:

Entalpía total: 7,100X / 615 Btu.

ñ) Petróleo requerido por el proceso.- La cantidad de combustible quemado en el horno puede ser calculado de un balance de energía del horno basado en una hora de operación en condiciones de régimen estacionario.

Bases de cálculo: tiempo 1 hora.

temperatura 60°F

Entrada

Entalpía de H<sub>2</sub>O en el aire:

$$0.62 \times 0.014 \times 1,055 \times 13.9 \times 5,000X = 640,000X \text{ Btu.}$$

Poder calorífico del combustible:

$$19,200 \times 5,000X = \dots\dots\dots 96,000,000X \text{ Btu.}$$

**Total**  $\dots\dots\dots$  **96,640,000X Btu.**

Salida

Entalpía en el material de descarga del horno:

$$84 \times 5,000 = \dots\dots\dots 420,000 \text{ Btu.}$$

Entalpía en los humos :

$$5,000(7,100X / 615) = 35,500,000X / 3,080,000 \text{ Btu}$$

Calor requerido por la reacciones:

$$550 \times 5,000 = \dots\dots\dots 2,750,000 \text{ Btu}$$

Pérdidas a través de las paredes del horno: 525,000 Btu

Calor radiado a través de aberturas: 11,510 Btu

Otras pérdidas (5% del P.C. del combustible):

$$19,200 \times 5,000 \times 0.05X = 4,800,000X \quad -$$

**Total**  $\dots\dots\dots$  **40,300,000X / 6,796,510 Btu**

Igualando y despejando se tiene:

$$X = 6,786,510 / (96,640,000 - 40,300,000)$$

$$= 0.122 \text{ lb/lb de baritina.}$$

La cantidad consumida por hora será:

$$0.122 \times 5,000 = 610 \text{ lb/hr.}$$

o) Cálculo de la cámara de combustión.- El volumen de la cámara se calcula por la siguiente fórmula:

$$V = W \times P.C.T. / H.R.$$

donde:  $V$  = volumen de la cámara en pies cúbicos.

$W$  = cantidad de combustible quemado en una hora.

$P.C.T.$  = Poder calorífico total del combustible.

$H.R.$  = "Heat-release" = 35,000 Btu/hr.ft<sup>3</sup>

Sustituyendo valores:

$$V = 610 \times 19,200 / 35,000 = 334 \text{ ft}^3$$

La cámara tendrá forma cilíndrica cortada en su base por un plano horizontal en dirección longitudinal. Sus dimensiones serán:

Diámetro interno: 7' 00"

Espesor de refractario: 09" = 0.75'

Diámetro externo: 8' 06"

Volumen interno de la cámara:  $334 \text{ ft}^3 = 7^2 \pi l$

$$\therefore l = 334 / 49 \pi = 2.16'$$

Longitud de la cámara:  $2.16 + 0.2 \times 2.16 = 2.59' = 2' 07"$

p) Cantidad de petróleo requerido para el calentamiento del horno y de la cámara de combustión.- Se calculará la cantidad de calor que habrá de almacenarse en las paredes, para lograr el régimen estacionario, se calculará mediante la siguiente ecuación, mencionada por Shack (Industrial Heat Transfer):

$$Q_A = mc(T_p - T_a)$$

donde:  $m$  = peso del material que compone las paredes del horno,  
expresado en libras.

$c$  = calor específico medio del material.

$T_p$  = temperatura promedio de la pared.

$T_a$  = temperatura ambiente.

1- Calentamiento del horno.- Cálculo del peso del material refractario:

$$m = \frac{\pi (D_e^2 - D_i^2) L p}{4}$$

donde:  $D_e = 6' 00''$

$L = 25' 00''$

$D_i = 5' 00''$

$p = 115 \text{ lb/ft}^3$

reemplazando:

$$m = \pi \times 11 \times 25 \times 115/4 = 24,800 \text{ lbs.}$$

Cálculo del peso del hierro del cilindro metálico:

$$m' = \pi D_e x L p'$$

donde:  $x = 0.042'$

$p' = 450 \text{ lb/ft}^3$

Sustituyendo:

$$m' = \pi \times 6 \times 0.042 \times 25 \times 450 = 8,900 \text{ lbs.}$$

En el presente caso se tiene:  $Q_A = Q' + Q''$

siendo  $Q'$  el calor almacenado en el refractario, y

$Q''$  el calor almacenado en la chapa de hierro.

$$Q' = 24,800 \times 0.235 \times \frac{(1,200 - 200)}{2} = 60 = 3,730,000 \text{ Btu.}$$

$$Q'' = 8,900 \times 0.356 \times (200 - 60) = 444,000 \text{ Btu.}$$

$$\text{Calor total almacenado: } Q_A \dots\dots\dots 4,174,000 \text{ Btu.}$$

2- Calentamiento de la cámara de combustión.- Cálculo del peso del material refractario:

$$D_e = 8' 06''$$

$$D_i = 7' 00''$$

$$L = 2.6'$$

Utilizando estos valores en la fórmula correspondiente se tiene:

$$m = \pi(72 - 49)2.6 \times 115/4 = 5,400 \text{ lbs.}$$

Calor total almacenada en las paredes de la cámara de combustión:

$$Q_A = 5,400 \times \frac{0.235(1,300 \neq 200 - 60)}{2} \\ = 873,000 \text{ Btu.}$$

Calor total requerido por el sistema para alcanzar el régimen estacionario:  $4,174,000 \neq 873,000 = 5,047,000 \text{ Btu.}$

Cantidad de petróleo para suministrar esta cantidad de calor:

$$5,047,000/0.30 \times 18,140 = 930 \text{ libras.}$$

q) Comprobación de la temperatura actual de llama.- Para este propósito se considerará combustión completa y los cálculos de enfriamiento de la llama se realizarán sólo sobre la base de las condiciones no adiabáticas existentes en la cámara de combustión.

Las razones por las que no se tiene un sistema adiabático son:

1- Pérdida de calor a través de las paredes de la cámara del horno.

2- Enfriamiento de la llama por los productos gaseosos de la lixiviación.

Para poder evaluar la pérdida de calor a través de las paredes del horno se recurre nuevamente a la ecuación de Fourier:

$$q = \Delta t/R$$

donde  $R = x/KA_m$

aquí se tiene:  $A_m = (A_e - A_i)/2.3 \log D_e/D_i$

$$= \frac{\pi \times 2.59(8.5 - 7.0)}{2.3 \log 8.5/7.0} = 62.3 \text{ ft}^2$$

$$\therefore q = (1300 - 200)0.62 \times 62.3/0.75 = 56,500 \text{ Btu/hr.}$$



Esta cantidad de calor es igual a la pérdida de entalpía experimentada por los gases de combustión al enfriarse desde  $1930^{\circ}\text{F}$  a una cierta temperatura tal como  $t^{\circ}\text{F}$ . Así se tiene:

$$56,500 = E m c_p (1930 - t)$$

y desarrollando la expresión, se tendrá  $t = 1920^{\circ}\text{F}$

A continuación se verá lo referente al enfriamiento de la llama por los gases de la lixiviación. Este punto también se resuelve por un sencillo balance de calor:

$$E m c_p \Delta t' = E m' c_p' \Delta t'' + m'' \Delta H_{R77^{\circ}\text{F}}$$

La entalpía de reacción corresponde a la oxidación del  $\text{H}_2\text{S}$ , y es a  $77^{\circ}\text{F}$  igual a  $-220$  Btu/lbmol.

El miembro de la izquierda representa el cambio de entalpía de los gases de combustión, por enfriamiento; mientras en la derecha tenemos el incremento de entalpía de los productos gaseosos provenientes de la lixiviación. Las bases serán  $60^{\circ}\text{F}$  y 1 libra de baritina procesada. Sustituyendo valores se tendrá:

$$4.30(1920 - t) = (0.0052 \times 9.25 + 0.0003 \times 12.15)(t - 60) + (-220)0.0003$$

$$t = 8253/4.35 = 1890^{\circ}\text{F}$$

Sin embargo en la práctica no se alcanzará esta cifra. Se tomará pues como correcta la cifra afectada por un factor 0.85:

$$0.85 \times 1890 = 1600^{\circ}\text{F}$$

Cifra que guarda relación con las experimentales dadas en la tabla N° 37 pág 409 del "Chemical Process Principles" de Hougen & Watson.

#### r) Reajuste de los cálculos

El problema que ahora se plantea es el de la fijación del régimen de trabajo del horno, y el reajuste de los cálculos de

acuerdo a las nuevas condiciones de operación:

Petróleo requerido por el proceso:  $4 \times 610 = 2,440 \text{ lbs.}$

Petróleo requerido para el calentamiento del  
horno y su cámara de combustión ..... 930 lbs.

Total ..... 3,370 lbs.

Relación de quemado:  $3,370/8 = 422 \text{ lbs/hr.}$

Tiempo del horno en proceso:  $2,440/422 = 5.77 \text{ hrs.} = 5\text{h } 46'$

Esta cifra esta comprendida dentro de los límites calculados en el acápite g), pág 85.

Velocidad de alimentación:  $10.0 \times 2,000/5.77 = 3,460 \text{ lbs/hr.}$

Lo cual significa que hay que rehacer el balance de calor del horno en orden a calcular la cantidad correcta de petróleo requerido por el proceso. Las bases serán las mismas que ya fueron empleadas en la ocasión anterior; o sea:  $60^\circ\text{F}$  y una hora de operación del horno en proceso.

#### Entrada

Entalpía de  $\text{H}_2\text{O}$  en el aire:

$$0.62 \times 0.014 \times 1,055 \times 3,460 \times 0.81X = 356,000X \text{ Btu}$$

Poder calorífico del combustible:

$$19,200 \times 3,460 \times 0.81X = \dots\dots\dots 54,000,000X \text{ Btu}$$

Total ..... 54,356,000X Btu

#### Salida

Entalpía en el material de descarga:

$$84 \times 3,460 \times 0.81 = \dots\dots\dots 236,000 \text{ Btu}$$

Entalpía en los humos:

$$3,460 \times 0.81(7100X + 615) =$$

$$19,900,000X + 1,720,000 \text{ Btu}$$

Calor requerido por las reacciones:

$550 \times 3,460 \times 0.81 = \dots\dots\dots 1,540,000 \text{ Btu.}$   
 Pérdidas a través de las paredes del horno  $\dots\dots 525,000 \text{ Btu.}$   
 Calor radiado a través de aberturas  $\dots\dots\dots 11,510 \text{ Btu.}$

Otras pérdidas:

$19,200 \times 3,460 \times 0.81 \times 0.05X = 2,700,000X \quad -$

Total  $\dots\dots\dots 22,600,000X \neq 4,032,510 \text{ Btu.}$

Igualando, despejando y efectuando, se tiene:  $X = 0.127 \text{ lb/lb baritina.}$

Petróleo por hora:  $0.127 \times 3,460 \times 0.81 = 356 \text{ lbs/hr.}$

Petróleo total para el proceso:  $356 \times 5.77 = 2,050 \text{ lbs.}$

Petróleo requerido por día:  $2,050 \neq 930 = 2,980 \text{ lbs.}$

Relación de quemado:  $2,980/8 = 373 \text{ lbs/hr.}$

Tiempo del horno en proceso:  $2,050/373 = 5.5 \text{ hrs.} = 5\text{h } 30'$

Tiempo de calentamiento:  $2\text{h } 30'$

Velocidad de alimentación:  $20,000/5.5 = 3,650 \text{ lbs/hr.}$

Nota.- Un nuevo reajuste es ya innecesario.

s) Eficiencia térmica del horno.

Calor suministrado a la carga:  $550 \text{ Btu/lb baritina.}$

Poder calorífico total del F.O.5:  $19,200 \times 0.127 = 2,440 \text{ Btu/lb baritina}$

Eficiencia basada en el P.C.T.  $= 550 \times 100/2,440 = 22.5\%$

Eficiencia basada en el P.C.N.  $= 550 \times 100/18,140 \times 0.127 = 24.0\%$

t) Determinación del análisis de los humos

Base:  $1 \text{ lb. de baritina procesada.}$

Compuesto		lbmol.	% vol.
CO <sub>2</sub>	$0.073 \times 0.127 \neq 0.0052$	0.0148	17.00
CO		0.0030	3.45
H <sub>2</sub> O	$0.063 \times 0.127 \neq 0.0121$	0.0201	23.00
N <sub>2</sub>	$0.380 \times 0.127 \neq 0.0006$	0.0486	55.75

Continuación del cuadro de análisis de humos

Compuesto	lbmol.	% vol.
SO <sub>2</sub>	0.0007	0.80
Totales	0.0872	100.00

u) Balance general de materias del proceso

Base de cálculo: 1 lb. de baritina procesada.

Nota.- Las cifras del balance serán válidas para cálculos realizados posteriormente sobre las bases de 1 Kg, 1 T.M., y 1 ton. c. de baritina procesada.

Entrada

Carga del horno: $1/0.81 =$	1.235 lbs.	38.40%
Combustible	0.127 lbs.	3.93%
Aire para la combustión	1.770 lbs.	54.45%
Productos de lixiviación:		
H <sub>2</sub> O $0.0052 \times 18 = 0.094$ lbs.		
H <sub>2</sub> S $0.0003 \times 34 = 0.010$ lbs.		
	0.104 lbs.	3.22%
<b>Total</b>	<b>3.236 lbs.</b>	<b>100.00%</b>

Salida

Descarga del horno	0.753 lbs.	23.20%
Humos:		
CO <sub>2</sub> $0.0148 \times 44 = 0.650$		
CO $0.0030 \times 28 = 0.084$		
H <sub>2</sub> O $0.0201 \times 18 = 0.360$		
N <sub>2</sub> $0.0486 \times 28 = 1.360$		
SO <sub>2</sub> $0.0007 \times 64 = 0.045$		
	2.499 lbs.	76.80%
<b>Total</b>	<b>3.254 lbs.</b>	<b>100.00%</b>

Error de balance:  $(3.252 - 3.236) 100/3.236 = 0.50\%$

v) Balance general de calor.

Bases de cálculo.- tiempo: 8 horas.

temperatura: 60°F.

Entrada

Entalpía del vapor de agua en el aire:

$$9.2 \times 13.9 \times 8.1 \times 2000 \times 0.127 = 262,000 \text{ Btu. } 0.46\%$$

Calor desarrollado en la combustión:

$$19,200 \times 2,980 = 57,000,000 \text{ Btu. } 99.54\%$$

Entalpía del vapor de agua en los

gases de lixiviación:

$$0.0052 \times 2,120 \times 18 = 199 \text{ Btu. } 0.35 \times 10^{-3}\%$$

Total 57,262,199 Btu 100.00%

Salida

Calor almacenado en las paredes del horno: 5,047,000 Btu 8.74%

Pérdidas de calor durante el calentamiento:

$$930(0.70 \times 18,140 \div 1,060) = 12,753,000 \text{ Btu } 22.30\%$$

Pérdidas a través de las paredes:

$$5.5 \times 525,000 = 2,900,000 \text{ Btu } 5.05\%$$

Calor radiado a través de aberturas:

$$5.5 \times 11,510 = 63,000 \text{ Btu } 0.11\%$$

Calor requerido por las reacciones:

$$550 \times 8.1 \times 2,000 = 8,900,000 \text{ Btu } 15.60\%$$

Entalpía en el material de descarga:

$$84 \times 8.1 \times 2,000 = 1,360,000 \text{ Btu } 1.97\%$$

Entalpía en los humos que salen del horno:

$$8.1 \times 2,000(7,100 \times 0.127 \div 615) = 24,550,000 \text{ Btu } 42.80\%$$

Continuación del balance de calor del proceso.

Pérdidas por causas diversas:

$$19,200 \times 8.1 \times 2,000 \times 0.05 \times 0.127 = 1,970,000 \text{ Btu } 3.43\%$$

$$\text{Total} \qquad \qquad \qquad 57,543,000 \text{ Btu } 100.0\%$$

$$\text{Error de cálculo: } 281,000 \times 100/57,262,000 = 0.49\%$$

w) Cálculo del motor para mover el horno.

Se empleará un motor de C.A., trifásico, asincrónico, 60 ciclos de frecuencia. La potencia se calcula de la siguiente expresión:

$$P = (N \pi D_e W / 33,000) \text{ hp}$$

$$\text{donde: } N = 0.5 \text{ rpm.}$$

$$D_e = \text{diámetro externo: } 6.08 \text{ ft.}$$

$W$  = peso muerto total a ser movido. Este peso se calcula considerando que la carga llena el 12% del volumen del horno en un momento dado:

$$\text{El peso de la carga es: } 13,950 \text{ lbs.}$$

$$\text{El peso del horno es: } 33,700 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso muerto total } W: \quad 47,650 \text{ lbs.}$$

Sustituyendo valores:

$$P = 0.5 \times 6.08 \times 47,650 \times \pi / 33,000 = 13.7 \text{ hp.}$$

Se utilizará pues un motor Westinghouse de 15 hp del tipo llamado "jaula de ardilla" ó "rotor en cortocircuito".

Cálculo de la energía consumida por el motor en las condiciones de trabajo fijadas al horno.

En las condiciones fijadas la carga en un momento dado es de 3,650 lb/hr.  $\times 1.18 \text{ hr.} = 4,330 \text{ lbs.}$ , con lo cual el peso muerto a mover es de 38,030 lbs. En estas circunstancias la potencia

consumida será:  $13.7 \times 38,030/47,650 = 10.9$  hp., y la energía consumida en 5h 30' de trabajo:  $10.9 \times 5.5 \times 0.746 = 44.8$  Kw-hr.

x) Sistema de alimentación.- Se empleará un transportador de gusano marca Link-Belt de 6", que operará a 16 rpm.

Potencia del motor:  $\frac{22 \times 10 \times 2 \times 224 \times 1.5}{33,000 \times 0.90} = 5$  bhp.

Energía consumida:  $5.0 \times 5.5 \times 0.746 = 20.5$  Kw-hr.

y) Ventiladores.- El horno requiere dos: uno para facilitar la extracción de los humos del proceso; y otro para suministrar el aire requerido por la combustión. Las especificaciones de estos ventiladores se dan a continuación:

1- Ventilador-extractor para los humos del proceso:

Marca: Sirocco.

Fabricante: American Blower Corporation, Detroit, Mi. U.S.A.

Número: 200.

Serie: 81.

Clase: I

Tipo: SISW.

Instalación: arreglo N° 4.

Designaciones de dirección:

- rotación: sentido contrario a las agujas del reloj.

- descarga: "Up-blast".

Impulsor de 20" de diámetro.

Capacidad:  $6,000 \text{ ft}^3/\text{min.}$ , medida contra una presión estática de 2" de agua, a las condiciones de entrada al aparato (700°F y 29" de Hg., barométrica).

Velocidad máxima de operación: 1,040 rpm.

Potencia actual: 3.20 bhp.

Bajo estas condiciones la velocidad periférica del impulsor no ex-

cederá de 5,420 ft/min., y la velocidad de descarga no será mayor de 1,800 ft/min.

2- Ventilador para el aire de combustión.- Para este propósito se usará un ventilador Sirocco N° 105, SISW, serie 81, clase I; con un arreglo N° 4, de instalación.

Designaciones de dirección:

- rotación: sentido contrario a las agujas del reloj.
- descarga: fondo horizontal.

Impulsor de 10 1/2" de diámetro.

Capacidad: 1,200 CFM, medida contra una presión estática de 1" de agua, a las condiciones de 60°F y 29" de Hg., barométrica.

Velocidad máxima de operación: 1,046 rpm.

Potencia actual: 0.35 bhp.

Velocidad periférica del impulsor (máxima): 2,900 ft/min.

Velocidad máxima de descarga: 1,900 ft/min.

• • •

Proceso de lixiviación del "black ash".

a) Balance de material.- La base de cálculo de este balance será, como en el proceso anterior, 1000 Kgrs. de baritina procesada.

Entrada

Descarga del horno	753.12 Kgrs.	17.90%
Agua.- 1) cantidad teórica:	3,504.70 - 637.50 = 2867.20 Kgrs.	
2) excso (20%)	582.80 Kgrs.	
Total de agua:	3450.00 Kgrs.	82.10%
Total entrada:	4203.12 Kgrs.	100.00%



	Salida	
Lejía de BaS	3,991.85 Kgrs.	94.87%
Residuos insolubles	115.62 ,,	2.79%
Productos gaseosos desarrollados.	98.00 ,,	2.34%
Total	4,205.47 Kgrs.	100.00%

## b) Análisis y propiedades físicas de la lejía.

	Kgmol.	Kgrs.	% mol.	% peso.
Ba(SH) <sub>2</sub>	1.704	345.00	0.92	8.62
Ba(OH) <sub>2</sub>	1.889	324.00	1.01	8.10
BaCl <sub>2</sub>	0.107	22.30	0.06	0.56
NaOH	0.214	8.55	0.11	0.21
H <sub>2</sub> O	182.888	3,292.00	97.90	82.51
Totales	186.802	3,991.85	100.00	100.00

Densidad a 18.5°- 1.081

Volumen de la solución:  $3,991.85/1.081 = 3,700$  lts.

Concentración en Ba<sup>++</sup>:  $3,700/3,700 = 1.000$  grátomos/lt.

Concentración en S<sup>=</sup>:  $3,408/3,700 = 0.920$  grátomos/lt.

## c) Productos residuales.

Análisis de los residuos sólidos:

	Kgrs.	% peso.
Carbonato de bario	72.00	62.30
Sulfato de bario	8.15	7.08
Carbón	0.20	0.17
Cenizas	35.27	30.45
Total	115.62	100.00

Análisis de los gases desarrollados.

	Kgrs.	Kgmol.	% volumétrico
H <sub>2</sub> S	10.00	0.292	5.75
H <sub>2</sub> O (vapor)	88.00	4.900	94.25
Total	98.00	5.192	100.00

Volumen ocupado por los gases:

$$5.19 \times 22.4 \times 298/273 = 126 \text{ m}^3 = 4,500 \text{ ft}^3$$

d) Cálculo del tanque de agitación.

Descarga del horno:  $0.753 \times 3,650/3,600 = 0.76 \text{ lb/seg.}$

El tiempo de disolución se estima en 10 minutos.

Material contenido en el tanque en un instante dado:

Descarga del horno:  $10 \times 60 \times 0.76 = 455.00 \text{ lbs.}$

Agua:  $455.00 \times 82.10/17.90 = 2,090.00 \text{ lbs.}$

Total:  $2,545.00 \text{ lbs.}$

Cifra que equivale a 1,160.00 Kgrs.

Volumen del tanque de agitación:

$$1,160.00/0.75 \times 1.08 = 1,430.00 \text{ lts.} = 1.43 \text{ m}^3$$

Dimensiones: altura = 1.00 m.

diámetro = 1.40 m.

área base = 1.50 m<sup>2</sup>.

. . .

Operación de decantación.- Cálculos.

Operación semicontinua (1 guardia diaria de 8 horas).

Batería de dos tanques dispuestos en contracorriente.

Tiempo de decantación: 20 minutos en cada poza.

Volumen de cada tanque:  $1.43 \times 20/10 = 2.86 \text{ m}^3$

Dimensiones.- altura: 1.00 m.

diámetro: 1.90 m.

área base = 2.86 m<sup>2</sup>.

Agitador de 2 paletas en cada tanque. Los dos agitadores serán accionados por un motor de 1/2 hp.

Bombas.- Se utilizarán dos bombas centrífugas del tipo de impulsores abiertos de succión simple, con dispositivos de autocebado. Una bomba se empleará para trasegar la lejía del 1er. tanque al 2°. La otra bomba transportará la lejía al tanque de almacenamiento.

Capacidad de cada bomba:

$$\frac{2.86 \times 0.75 \times 1,000}{3.785 \times 20} = 30 \text{ gpm.}$$

Se empleará tubería de acer de 2" en la instalación.

Velocidad de flujo:  $0.4085 \times 30/4 = 3.10 \text{ ft/seg.}$

Potencia actual requerida:

$$\frac{30 \times 1.08 \times H}{3,960 \times 0.8} \text{ bhp.}$$

Donde H es la carga total expresada en pies de columna líquida.

Para la primera bomba:  $H = 8'$  y  $P = 0.08 \text{ bhp.}$

Para la segunda bomba:  $H = 20'$  ;  $P = 0.20 \text{ bhp.}$

. . .

Corrección de la lejía.- Se efectúa adicionando sulfuro de sodio en la 2a. cuña de decantación, para cubrir el déficit de (S<sup>-</sup>).

Sobre la base de 1,000 Kgrs. de baritina procesada se tiene un déficit de  $3.700 - 3.408 = 0.292 \text{ Kgátomos de S.}$

La cantidad de sulfuro de sodio por adicionar será:

Na <sub>2</sub> S teóricamente requerido:	0.292 Kgmol.
5% exceso	0.015 Kgmol.
Total	0.307 Kgmol.

. . .

**Almacenamiento de la lejía.-** El depósito será diseñado sobre la base de la producción diaria de lejía. Su volumen será:

$$3.7 \times 7.35 / 0.8 = 34 \text{ m}^3$$

Las dimensiones serán:

Area de la base:  $13.60 \text{ m}^2$

Diámetro: 4.20 m.

Altura: 2.50 m.

- . -

**SECCION N° 2.-** Elaboración de la solución de sulfato de zinc.

Proceso de desulfuración de los concentrados de blenda.

a) Balance preliminar de material.

Base de cálculo: 1,000 Kgrs. de concentrados en proceso.

Material que constituye la carga del horno.

Componente	Kgrs.	Kgátom.
Humedad	90.00	5.000
Zn	538.00	8.220
Fe	32.20	0.580
Pb	19.70	0.095
Cu	2.10	0.033
S	308.00	9.600
As	1.20	0.016
Material insoluble	8.80	-

Nota.- Se considera un rendimiento del 80% en la desulfuración.

Material descargado del horno (calcina)

Componente	Kgmol.	Kgrs.	% p. peso	Kgmol O <sub>2</sub> requerido
ZnO	6.580	535.00	69.60	3.290
ZnS	1.640	160.00	20.80	-

Continuación del análisis de la calcina.

Componente	Kgmol.	Kgrs.	% p. Peso	Kgmol O <sub>2</sub> requerido
FeO	0.580	41.50	5.40	0.290
PbO	0.095	21.10	2.74	0.048
Cu <sub>2</sub> O	0.017	2.43	0.32	0.009
Material in-soluble		8.80	1.14	-
Totales		768.83	100.00	3.637

Material que sale con los humos

	Kgmol.	Kgmol O <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub>	7.960	7.960
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.008	0.012
Total de oxígeno:		7.972

Cantidad teórica de oxígeno requerido por el proceso:

$$3.637 + 7.972 = 11.609 \text{ Kgmol.}$$

Cantidad de nitrógeno en el aire requerido:

$$11.609 \times 79/21 = 43.600 \text{ Kgmol.}$$

Aire total:  $11.609 + 43.600 = 55.221 \text{ Kgmol.}$

Humedad en el aire:  $55.221 \times 0.014 = 0.775 \text{ Kgmol.}$

Humedad total en los humos:  $5.000 + 0.775 = 5.775 \text{ Kgmol.}$

Un balance parcial, sin considerar los productos de combustión que entran en el horno da los siguientes resultados:

Entrada

Concentrados de blenda .....	1,000 Kgrs
Aire para el proceso: $55.221 \times 29 =$ .....	1,600 Kgrs
Humedad en el aire: $0.775 \times 18 -$ .....	14 Kgrs
Total .....	2,614 Kgrs

Ladrillos rojos de construcción ..... 6" de espesor.

Espesor total de la pared: ..... 1' 02 1/2".

Refuerzos estructurales a base de viguetas y hierros de perfil en doble T.

Techo:

Arcos de ladrillos de sílice de 60°, reforzados con tirantes de acero en la parte externa.

Sistema de refrigeración de la estructura:

Techo y paredes con agua.

Fondo de la solera con aire y agua.

c) Régimen de trabajo.- Este tipo de hornos requiere trabajo continuo, sobre todo en el presente caso. Se trabajará pues las 24 horas del día en 3 guardias de 8 horas. La carga y descarga se realizarán cada 2 horas. Cada carga consta de  $3,860/12 = 323$  Kgrs. de concentrados.

d) Calor requerido por las reacciones a la temperatura de reacción Este calor se calculará por kilo de concentrados de blenda en proceso.

Tabla de calores de reacción a 25°C:

Reacción	$\Delta H_{R25^\circ C}$ Kcal/grmol.	grmol de óxido.	Kcal.
$ZnS + 1\ 1/2\ O_2 = ZnO + SO_2$	- 105.63	6.580	- 700.00
$FeS_2 + 2\ 1/2\ O_2 = FeO + 2SO_2$	- 163.70	0.580	- 95.00
$PbS + 1\ 1/2\ O_2 = PbO + SO_2$	- 100.49	0.095	- 9.50
$Cu_2S + 1\ 1/2\ O_2 = Cu_2O + SO_2$	- 91.80	0.017	- 1.56
Total .....			- 806.06 (')

(<sup>1</sup>) Esta cifra equivale a - 3,200 Btu/kg. ó - 1,460 Btu/lb de concentrados.

Tabla de calores sensibles:

Compuesto	Kgrs.	$c_p$ Kcal/Kg°C	Kcal.
ZnS	0.800	0.14	0.112
FeS <sub>2</sub>	0.070	0.18	0.012
PbS	0.023	0.06	0.001
Cu <sub>2</sub> S	0.003	0.13	-
Material insoluble	0.009	0.29	0.003
Totales	0.905	-	0.128

Calor latente para evaporar la humedad de la carga:

$$0.090 \times 537 = 48.50 \text{ Kcal.}$$

$$\therefore (E_{\text{Kgr}})_{22} = - 806.06 + 0.13 + 48.50 = - 757.43 \text{ Kcal/Kgr.}$$

$$= - 3,000 \text{ Btu/Kgr.}$$

$$= - 1,360 \text{ Btu/lb.}$$

e) Cálculo de las pérdidas de calor a través de las paredes del horno.

$$\text{Ladrillo dina} \quad r' = 0.5/0.7 \times 820 = 0.00087$$

$$\text{Aislamiento} \quad r'' = 2.5/12 \times 0.13 \times 820 = 0.00196$$

$$\text{Ladrillo rojo} \quad r''' = 0.5/0.5 \times 820 = 0.00122$$

$$E_r = r' + r'' + r''' = 0.00405$$

$$q = At/E_r = (930 - 100)/0.00405 = 205,000 \text{ Btu/hr.}$$

f) Calor radiado a través de aberturas.- Se asume una temperatura actual de llama de 1500°F.

$$\text{Ventanas de carga: } 180 \times 2 \times 0.62 \times 2500/6.25 = 90,000 \text{ Btu/hr.}$$

$$\text{Ventanas de descarga: } 2 \times 180 \times 0.52 \times 900/6.25 = 27,000 \text{ Btu/hr.}$$

$$\text{Ventanas de operación } 10 \times 180 \times 0.40 \times 600/6.25 = 69,000 \text{ Btu/hr.}$$

Aberturas auxiliares:  $2 \times 180 \times 0.25 \times 16 = 1,440$  Btu/hr.

Total de calor radiado a través de aberturas: 187,444 Btu/hr.

g) Entalpía en el material de descarga del horno.- El cálculo se hará por unidad de peso de contrados de blenda en proceso.

Compuesto	Kgrs.	$c_p$	Kg x $c_p(500 - 15)$ Kcal.
ZnO	0.535	0.15	39.00
ZnS	0.160	0.14	10.80
FeO	0.042	0.19	3.88
PbO	0.021	0.05	0.51
Cu <sub>2</sub> O	0.002	0.17	0.16
Material insoluble	0.009	0.29	1.26
Totales	0.769	-	55.61 (')

(') Esta cifra equivale a 220 Btu/Kg. ó 100 Btu/lb. de concentrados.

h) Cálculo del calor impartido al agua de enfriamiento.- Cada hora se removerá una cantidad de calor comprendida entre el 0.5 y 1.5% del calor total almacenado en las paredes, para evitar un sobrecalentamiento que dañaría la estructura del horno. Este cálculo se hará posteriormente luego de haber determinado la cantidad de calor requerida por el sistema para alcanzar el régimen estacionario.

i) Entalpía que sale con los humos.- Basado en una libra de concentrados de blenda en proceso se tiene el siguiente cuadro:

Historial de los humos

Compuesto	Procedencia		Moles totales
	Desulfuración	Combustión	
SO <sub>2</sub>	0.0080	$0.3 \times 10^{-4}$	$0.0080 + 0.3 \times 10^{-4}$
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$0.8 \times 10^{-5}$	-	$0.8 \times 10^{-5}$



Continuación del cuadro de historial de humos.

Producto	Procedencia		Moles totales.
	Desulfuración	Combustión	
H <sub>2</sub> O	0.0058	0.063X	0.0058 + 0.063X
N <sub>2</sub>	0.0436	0.380X	0.0436 + 0.380X
CO <sub>2</sub>	-	0.073X	0.073X

La temperatura de salida de los gases del horno, se estima en 650° centígrados (1200°F).

Entalpía de productos referida a 60°F:

$$SO_2: (0.0080 + 0.3 \times 10^{-4}X) 11.56 (1200 - 60)$$

$$H_2O: (0.0058 + 0.063X) 1,603 \times 18 + (0.0058 + 0.063X)8.75(1200 - 60)$$

$$N_2 : (0.0436 + 0.380X) 7.27 (1200 - 60)$$

$$CO_2: 0.073X \times 11.18(1200 - 60)$$

$$\text{Total: } (695 + 6,520X) \text{ Btu/lb. de concentrados.}$$

j) Petróleo requerido por el proceso.- Esta cifra se calcula de un balance de calor del horno basado en 2 horas de operación. Temperatura base: 60°F.

#### Entrada

Entalpía del vapor de agua en el aire:

$$9.15(13.9 \times 393 \times 2.2X + \frac{14 \times 0.323 \times 2.2}{0.00865}) = 90,000X + 10,500$$

Poder calorífico del combustible:

$$19,200 \times 323 \times 2.2X - \dots \dots \dots 13,600,000X$$

$$\text{Total} \dots \dots \dots 13,690,000X + 10,500$$

#### Salida

Entalpía en el material de descarga:

$$100 \times 323 \times 2.2 - \dots \dots \dots 70,000 \text{ Btu}$$

Entalpía en los humos:

$$323 \times 2.2(695 + 6,520)X = 4,630,000X + 494,000 \text{ Btu.}$$

Calor desarrollado por las reacciones:

$$323 \times 2.2(-1,360) = \dots\dots\dots - 965,000 \text{ Btu.}$$

Pérdidas a través de las paredes:

$$2 \times 205,000 = \dots\dots\dots 410,000 \text{ Btu.}$$

Calor radiado a través de aberturas:

$$0.5 \times 187,440 = \dots\dots\dots 93,500 \text{ Btu.}$$

Calor impartido al agua de enfriamiento:  $\dots\dots\dots 500,000 \text{ Btu.}$

Otras pérdidas:

$$19,200 \times 323 \times 2.2 \times 0.05X = 680,000X \quad -$$

Total  $\dots\dots\dots 5,310,000X \quad 602,500 \text{ Btu.}$

Igualando se tiene:

$$13,690,000X + 10,500 = 5,310,000X + 602,500$$

$$8,380,000X = 592,000$$

$$\therefore X = 592,000/8,380,000 = 0.071 \text{ lbs. F.O.5/lb. con-} \\ \text{centrados}$$

Petróleo total por día:  $12 \times 710 \times 0.071 = 605 \text{ lbs. F.O.5}$

k) Petróleo requerido para el calentamiento del horno.

La siguiente tabla permite determinar la cantidad de calor necesaria para que el sistema del horno alcance las condiciones del estado estacionario. Con este valor se determinará luego la cantidad de petróleo requerida para calentar el horno.

Material	Peso en lbs.	$c_p$	$mc_p(930 - 60) \text{ Btu.}$
Refractario	61,500	0.23	87,000,000
Aislamiento	6,300	0.05	274,000
Ladrillo rojo	49,300	0.17	7,300,000
Total	117,100	-	94,574,000

Cantidad de petróleo:  $94,574,000/0.30 \times 18,140 = 17,400$  lbs.

El calentamiento se efectuará en 30 horas, luego la relación de quemado del combustible es 580 lbs/hr.

1) Cálculo de la cámara de combustión.

El volumen de la cámara será:

$$V = 580 \times 19,200/30,000 = 370 \text{ ft}^3 = 10.4 \text{ m}^3$$

Dimensiones.- longitud: 5.20 m.

ancho: 2.00 m.

altura: 1.00 m.

Petróleo para el calentamiento de la cámara:

$$17,400 \times 360/820 = 7,630 \text{ lbs. F.O.5}$$

Tiempo que tomará el calentamiento del horno y la cámara de combustión:

$$(17,400 + 7,630)/580 = 43 \text{ horas.}$$

m) Determinación del análisis de los humos que salen del horno.

Compuesto	lbmol.	lbs.	% vol.
SO <sub>2</sub>	0.0080	0.510	8.50
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8 x 10 <sup>-5</sup>	0.002	0.01
H <sub>2</sub> O	0.0103	0.186	11.00
N <sub>2</sub>	0.0706	1.980	74.97
CO <sub>2</sub>	0.0052	0.229	5.52
Total	0.0941	2.907	100.00

n) Balance de materias del proceso.

Base de cálculo: 1 lb. de concentrados de blenda.

	Entrada	
Concentrados de blenda	lbs. 1.000	% p. Peso 27.20
Combustible	0.071	1.93

	lbs.	% p. peso.
Aire: 1- para el proceso	1.600	
2- para la combustión	0.990	
Total de aire	2.590	70.24
Humedad en el aire:		
$2.590 \times 0.62 \times 0.014 =$	0.023	0.63
Total de entrada:	3.684	100.00

## Salida

Calcina	0.769	21.00
Humos	2.907	79.00
Total	3.676	100.00

Error de balance menor de 0.5%.

## o) Balance de calor del proceso.

Bases de cálculo: tiempo: 2 horas.

temperatura: 60°F.

## Entrada

Entalpía del vapor de agua en el aire:	16,900 Btu.	0.86%
Poder calorífico del combustible:	965,000 Btu.	49.57%
Calor desarrollado por las reacciones:	965,000 Btu.	49.57%
Total:	1,946,900 Btu.	100.00%

## Salida

Entalpía en el material de descarga:	70,000 Btu.	3.60%
Entalpía en los humos:	823,000 Btu.	42.20%
Pérdidas a través de las paredes:	410,000 Btu.	21.07%
Calor radiado a través de aberturas:	93,500 Btu.	4.83%
Calor impartido al agua de enfriamiento:	500,000 Btu.	25.80%
Otras pérdidas:	48,400 Btu.	2.50%
Total:	1,944,900 Btu.	100.00%

Proceso de lixiviación de la calcina.

a) Cálculos previos.- Base: 1,000 Kgrs. de concentrados.

Determinación de la cantidad de ácido:

Compuesto	Kgmol.	Kgmol H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ZnO	6.580	6.580
ZnS	1.640	1.640
FeO	0.580	0.580
PbO	0.095	0.095
Cu <sub>2</sub> O	0.017	0.034
Total de ácido:		8.929

Luego la cantidad de ácido será:

$$8.929 \times 98.06 / 0.932 = 940 \text{ Kgrs. de H}_2\text{SO}_4^{66^\circ\text{Bé.}}$$

Volumen de ácido:  $940 / 1.835 = 510 \text{ lts.}$

Agua para diluir el ácido hasta 5% vol.:

$$\frac{940(0.932 - 1)}{0.088} = 9,000 \text{ lts.}$$

Probable análisis de la solución a obtener:

	Kgmol.	Kgrs.	% p. peso
ZnSO <sub>4</sub>	8.220	1,320.00	12.40
FeSO <sub>4</sub>	0.580	88.00	0.83
CuSO <sub>4</sub>	0.034	5.40	0.05
H <sub>2</sub> O	510.580	9,183.00	86.72
Total		10,596.00	100.00

Volumen de la solución obtenida:

$$10,596.40 / 1.14 = 8,900 \text{ lts.}$$

Cálculo del H<sub>2</sub>S desprendido.- Reacción:



$$\text{H}_2\text{S} = 1.640 \times 34.06 = 56.00 \text{ Kgrs.}$$

Residuos de la lixiviación:

	Kgmol.	Kgrs.
PbSO <sub>4</sub>	0.095	28.80
Materia insoluble		8.80
Total	-	37.60

Riqueza en plomo de este material:

$$0.69 \times \frac{28.80}{37.60} \times 100 = 53\%$$

b) Balance de materias.- Base: 1,000 Kgrs. de concentrados.

Entrada

Calcina .....	768.83 Kgrs.	7.20%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	940.00 Kgrs.	8.80%
Agua .....	9,000.00 Kgrs.	84.00%
Total .....	10,708.83 Kgrs.	100.00%

Salida

Solución de sulfato .....	10,596.40 Kgrs.	99.91%
Residuos .....	37.60 Kgrs.	0.04%
H <sub>2</sub> S .....	56.00 Kgrs.	0.05%
Total .....	10,690.00 Kgrs.	100.00%

c) Cálculo del calor total de reacción.- Este cálculo está basado en 1 Kg. de concentrados en proceso.

Reacción	AH <sub>R25°C</sub> Kcal/grmol.	grmol.	Kcal.
ZnO a ZnSO <sub>4</sub>	- 44.57	6.580	- 293.00
ZnS a ZnSO <sub>4</sub>	- 1.49	1.640	- 2.44
FeO a FeSO <sub>4</sub>	- 30.61	0.580	- 17.80
PbO a PbSO <sub>4</sub>	- 41.84	0.095	- 3.97
Cu <sub>2</sub> O a CuSO <sub>4</sub>	- 8.66	0.017	- 0.15
Total	-	-	- 317.36 (')

(') Esta cifra equivale a - 1,260 Btu/Kg. concentrados, ó

- 570 Btu/lb de concentrados.

d) Temperatura alcanzada por la solución.

Calor total desarrollado (1,000 Kgrs. de concentrados):

317,360 Kcal.

Pérdidas por radiación(10%)

31,736 Kcal.

Calor sensible en la solución:

285,624 Kcal.

$t = 15 = 285,624/10,690 \times 0.842 = 31.8^{\circ}\text{C}.$

$\therefore t = 46.8^{\circ}\text{C}$

e) Pozas de lixiviación.- El mínimo número de pozas para trabajar eficientemente en una guardia de 8 horas diarias, es de 3. Esto se demuestra posteriormente en el desarrollo de los cuadros de distribución del tiempo. También se verá que se requiere una poza más para ir enfriando el material. El trabajo de la batería de pozas es el siguiente:

Capacidad de cada poza: material descargado en 6 horas, del horno.

El trabajo para cada poza será discontinuo, y repartido en la forma que a continuación se indica:

Carga y enfriamiento (poza seca)	6h 00'
Proceso de lixiviación	2h 30'
Decantación	0h 30'
Trasiego	1h 00'
Total	10h 00'

Nota.- La carga se realizará en tres guardias en forma intermitente cada 2 horas; pero el proceso y las operaciones de decantación y trasiego se llevarán a cabo dentro de las ocho horas de una sola guardia.

f) Dimensiones de la pozas.

Volumen de cada poza:  $3,860 \times 8.9/3 \times 0.75 = 15,200 \text{ lts} = 15.2 \text{ m}^3$

profundidad: 1.60 m.

diámetro: 3.50 m.

área base: 9.50 m<sup>2</sup>

Como ya se dijo estas pozas servirán primero para el enfriamiento del material. En efecto el material asignado a cada poza puede extenderse en su fondo para formar una capa de un espesor promedio de:  $695/3 \times 9.50 = 25$  mm., con lo que se logrará un rápido enfriamiento.

. . .

Proceso de depuración de la solución de sulfato

Este es en realidad un proceso múltiple que comprende la neutralización de la solución y la precipitación de sus impurezas metálicas.

a) Reacciones del proceso.



Cantidades de reactivos a proporcionar.- Base 1,000 Kgrs. de concentrados en proceso.

CaO = 0.220 + 0.580 = 0.800 Kgmol. = 47.00 Kgrs. (CaO 95%).

NaCl = 0.580 Kgmol. = 34.00 Kgrs.

Zn<sup>0</sup> = 0.034 Kgmol. = 2.25 Kgrs.

Total: - 83.25 Kgrs.



b) Dimensiones y régimen de trabajo de las pozas.- Se emplearán 3 pozas de las siguientes dimensiones:

profundidad: 1.60 m.  
 diámetro: 3.50 m.  
 área base: 9.50 m<sup>2</sup>

El régimen de trabajo de cada poza será:

reacción: 1h 00'  
 bombeo: 1h 00'  
 total: 2h 00'

c) Cálculo de la bomba.- Se usará una bomba de diafragma para enviar la solución a los filtros prensa.

Capacidad:  $11,400 / 3.785 \times 60 = 50$  gpm.

Marca y tipo: Dorrco VM N° 3

Carrera máxima: 2 1/4"

Carrera mínima: 5/8"

Capacidad máxima: 7.50 ft<sup>3</sup>/min.

Capacidad mínima: 2.10 ft /min.

Potencia: 1 hp.

• •

Filtración de la solución y lavado de los residuos.

a) Balance de materias en el filtro prensa.- Base de cálculo:

1,000 kgrs. de concentrados de blenda en proceso.

Entrada

Solución con material en suspensión: ..... 10,679.65 Kgrs

Salida

Residuos retenidos en el filtro: ..... 176.95 Kgrs

Solución de sulfato en los residuos ..... 90.00 Kgrs

Continuación del balance:

Solución filtrada ..... 10,412.00 Kgrs  
 Total ..... 10,678.95 Kgrs

b) Lavado de los residuos

Agua empleada en el lavado:  $5 \times 266.95 = 1,340$  litros.

Agua retenida por los residuos: 80 litros.

Agua residual de lavado: 1,260 litros.

Esta agua se adiciona al filtrado con lo que se obtendrán unos 12,840 Kgrs de solución de sulfato, que poseerán el siguiente análisis aproximado:

ZnSO <sub>4</sub>	..... 1,320 Kgrs.	..... 11.5% p. peso.
H <sub>2</sub> O	..... 11,520 Kgrs.	..... 88.5% p. peso.
Total	..... 12,840 Kgrs.	..... 100.00% p. peso.

El volumen de la solución será:  $12,840/1.12 = 11,400$  lts.

Concentración de Zn<sup>++</sup>  $= 8,220/11,400 = 0.72$  gr-átomo/lt.

Probable análisis de los residuos del filtrado:

	Kgrs.	% p. peso.
CaSO <sub>4</sub>	..... 109.00	..... 61.64
Fe(OH) <sub>3</sub>	..... 62.00	..... 35.00
Cu <sup>o</sup>	..... 2.15	..... 1.22
Zn(OH) <sub>2</sub> + Zn(OH)Cl	..... 3.80	..... 2.14
Total	..... 176.95	..... 100.00

c) Especificación de los filtros.- Para este propósito se emplearán 2 filtros prensa en paralelo. Las características de los filtros se exponen a renglón seguido.

Marca: Shriver.

Fabricante: T. Shriver & Co., Inc., 802 Hamilton St.,

Harrison, N.J.

Especificaciones:

Capacidad: 3,000 gph.

Dimensiones de las placas: 18" x 18".

Número de placas: 60.

Presión de trabajo: 25 psi.

Espacio requerido: aproximadamente 2.50 m<sup>2</sup>

. . .

Almacenaje de la solución.

Capacidad del depósito: 3.86 x 11.4 = 44.00 m<sup>3</sup>

Forma: paralelepípedo rectángulo.

Dimensiones.- longitud: 5.50 m.

          ancho: 4.00 m.

          altura: 2.00 m.

          área base: 22.00 m<sup>2</sup>

- . -

SECCION N° 3.- Obtención del litopón y operaciones de acabado.

Proceso de coprecipitación.

a) Cálculos de material y balance de materias.- Base de cálculo

1,000 litros de lejía de bario.

Cantidad de solución de sulfato necesaria:

$$1,000 \times 1.000 / 0.720 = 1,390 \text{ lts.}$$

Litopón producido de la reacción de las dos soluciones:

$$1.000(97.44 \div 233.42) = 330.86 \text{ Kgrs.}$$

Solución residual obtenida del proceso:

$$900 \div 1,400 = 2,300 \text{ Kgrs.}$$

Balance de materias:

## Entrada

Lejía de BaS .....	1,081.30 Kg. ....	41.00%
Solución de ZnSO <sub>4</sub> .....	1,560.00 Kg. ....	59.00%
Total .....	2,641.30 Kg. ....	100.00%

## Salida

Litopón producido .....	330.86 Kg. ....	12.60%
Solución residual .....	2,300.00 Kg. ....	87.40%
Total .....	2,630.86 Kg. ....	100.00%

b) Cálculo de las pozas de reacción.- Se tendrán dos cubas de reacción cuyo trabajo efectivo será de 3 hr/cuba, desarrollado dentro de una sola guardia de ocho horas diarias.

Volumen del material a ser tratado por cuba:

$$\frac{7.35}{2} \times 3,700 \times 2.39 = 32,500 \text{ litros.}$$

Volumen de cada cuba:

$$\frac{8}{6} \times \frac{32,500}{1,000} = 52 \text{ m}^3$$

Dimensiones: profundidad: 2.50 m.

diámetro: 5.20 m.

área base: 21.00 m<sup>2</sup>

c) Cálculo del agitador.- Este cálculo se ha desarrollado siguiendo el método de White y Sumerford, citado en la pág 1225 del Manual de Perry. La ecuación utilizada es:

$$P = cL^3sN^3D^{1.1}W^{0.3}H^{0.6}$$

Donde: P = potencia requerida, en bhp.

c - coeficiente adimensional de potencia. Es función del número de Reynolds modificado:  $L^2Ns/z$

L = longitud de la paleta de agitación, en pies.

D = diámetro de la poza, en pies.

$H$  = profundidad de líquido en la cuba, en pies.

$W$  = ancho de la paleta, en pies.

$s$  = densidad del líquido, en  $\text{lb/ft}^3$ .

$z$  = viscosidad absoluta, en  $\text{lb/ft}\cdot\text{seg}$ .

$N$  = velocidad de la paleta, en rps.

Las características del agitador a usar serán:

$L$  = 15 ft.

$W$  = 0.25 ft.

$N$  = 0.1 rps.

Las características de la cuba en trabajo son:

$D$  = 16.90 ft.

$H$  = 5.15 ft.

Las características de la suspensión son:

$s$  = 66.00  $\text{lb/ft}^3$

$z$  =  $0.94 \times 10^{-3}$   $\text{lb/ft}\cdot\text{seg}$ .

Con estos datos se obtiene:

$$L^2 N s / z = 1.6 \times 10^{-6}$$

Con este valor se obtiene gráficamente,  $c = 0.2 \times 10^{-4}$

Y sustituyendo valores y efectuando operaciones:

$P = 0.03$  hp.

Características del motor que ha de mover los agitadores:

Motor de inducción para C.A. monofásica.

Voltaje: 220 voltios.

Frecuencia: 60 ciclos.

Potencia: 1/6 hp.

d) Cálculo y especificación de la bomba de trasiego.

Capacidad:  $32,500/2 \times 60 \times 28.32 = 9.60 \text{ ft}^3/\text{min}$ .

Marca y tipo: Dorrco VM N° 4.

Carrera máxima: 2 3/4"  
 Carrera mínima: 3/4"  
 Capacidad máxima: 12.20 ft<sup>3</sup>/min.  
 Capacidad mínima: 3.30 ft<sup>3</sup>/min.  
 Potencia: 1 1/2 hp.

• • •

1a. Decantación.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 litros de lejía de sulfuro de bario.

Entrada

Litopón en suspensión .....	330.86 Kgrs.
Solución residual .....	2,300.00 Kgrs.
Agua de lavado .....	1,360.00 Kgrs.
Total .....	3,990.86 Kgrs.

Salida

Lodos a filtrar .....	700.00 Kgrs.
Total de residuos líquidos .....	3,290.00 Kgrs.
Total de salida .....	3,990.00 Kgrs.

b) Especificación del régimen de trabajo y equipo.

Operación semicontinua (una guardia por día)

Tiempo total de decantación para el material: 2 horas

Batería de 3 tanques de madera dispuestos para trabajar en contracorriente. Cada tanque tiene un agitador de 4 paletas. Los agitadores son accionados en conjunto por un motor de 1/2 hp.

Capacidad de los tanques:

$$65 \times 20/4 \times 60 \times 0.8 = 6.80 \text{ m}^3$$

Dimensiones.- altura: 1.00 m.

diámetro: 3.00 m.

área base 6.80 m<sup>2</sup>

Bombas.- Se requieren tres bombas, dos para el servicio de la batería y una para la alimentación del filtro prensa. Las dos primeras serán bombas de diafragma de 6,800/20 x 3.785 = 90 gpm. de capacidad, tipo "O.D.S."

La bomba para la alimentación del filtro prensa será una bomba de pistón para ~~todo~~ de:

610 x 65/2.89 x 2.39 x 8 x 60 = 12 lts/min.

Las características de esta bomba serán:

Marca: Wirthco.

Fabricante: Alfred Wirth & Co., Erkelenz (Alemania).

Tipo: LKE 2 3/4 x 3"

Capacidad: 5.6 gpm.

Carrera: 3"

Diámetro del cilindro: 1 3/4"

Velocidades máximas:

Cigüeñal (crank shaft): 120 rpm.

Eje del motor (drive shaft): 540 rpm.

Conexiones:

Succión: 1 1/2"

Descarga: 1 1/4"

Potencia actual: 2.3 bhp.

Peso de la bomba: 170 Kgrs. = 370 lbs.

. . .

1a. Filtración y lavado del litopón bruto.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 litros de lejía de sulfuro de bario.

Entrada

Lodos .....	700.00 Kgrs.
Agua para lavado .....	660.00 Kgrs.
Total .....	1,360.00 Kgrs.

Salida

"Cake" húmedo .....	495.00 Kgrs.
Agua de lavado .....	865.00 Kgrs.
Total .....	1,360.00 Kgrs.

b) Régimen de trabajo y equipo.- El filtrado se realizará en una guardia de ocho horas por día en dos filtros prensa de los denominados de plato y marco (plate & frame). El trabajo de cada filtro estará repartido en la siguiente forma:

Filtración .....	4h 00'
Lavado .....	2h 00'
Descarga de los "cakes" y acondicionamiento del filtro .....	2h 00'
Total .....	8h 00'

Cálculo del área filtrante.- Para ello se divide el número de libras del litopón a ser retenidas por operación, entre un parámetro que determina el espesor del "cake" apropiado.

$$A = 2,600 \times 1,000 \times 2.2/300 \times 50 = 380 \text{ ft}^2$$

El equipo a usar constará de una batería de dos filtros prensa en paralelo. Cada uno de estos filtros tendrá las siguientes caracte



rísticas:

Marca: Shriver.

Fabricante: T. Shriver & Co., Inc., Harrison, N.J.

Especificaciones:

Capacidad: 2,000 lts/hr.

Dimensiones de las placas: 24 x 24"

Número de placas: 48

Presión de trabajo: 40 psig.

Espacio aproximadamente requerido: 3.00 m<sup>2</sup>

c) Cálculo del agua de lavado.- Sobre la base de 1,000 Kgrs. de baratina procesada, la cifra es:

$$2 \times 3.7 \times 330.86 = 2,240 \text{ lts.}$$

La cantidad requerida por operación y por filtro será:

$$7.35 \times 2,240/2 = 9,000 \text{ lts.}$$

Esta cantidad de agua será suministrada por una bomba centrífuga de 30 gpm. de capacidad, trabajando contra una carga total de 20 pies de agua, accionada por un motor de 1/2 hp.

• • •

ler. Secado.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 litros de lejía de sulfuro de bario.

Entrada

"Cake" con 50% de humedad en base seca: ..... 495.00 Kgrs

Salida

"Cake" con 1% de humedad en base seca: ..... 333.00 Kgrs

Agua evaporada: ..... 162.00 Kgrs

Total ..... 495.00 Kgrs

b) Cálculo del secador.

Se empleará un secador de túnel con aire en contracorriente. El aire será calentado por un banco de tubos de 1" st. con vapor saturado a 280°F y 50 psia. El aire entrará al secador a 250°F y una humedad absoluta de 0.01 lb de agua/lb de aire seco; y saldrá a 120°F. El "cake" será alimentado al secador con una humedad de 0.50 lb de agua/lb de sólido seco, a 60°F; y saldrá a 230°F y 0.01 lb de agua/lb de sólido seco. La humedad crítica del litopón bruto es de 0.26 lb de agua/lb de sólido seco. (Perry op. cit. pág. 826).

El secador trabajará en forma continua, las 24 horas del día, luego deberá ser diseñado para producir  $19,000/24 = 790$  libras/hora (base seca). El método de cálculo es el desarrollado por Perry op. cit. págs. 810; 822 - 23.

Cálculo del aire requerido.-

Calor para evaporar la humedad:

$$790(0.50 - 0.01) \left[ (212 - 60) \neq 970 \neq 0.45(120 - 212) \right] =$$

$$= 420,000 \text{ Btu/hr.}$$

Calor para elevar la temperatura

$$\text{del material: } 0.17 \times 790(230 - 60) = 22,800 \text{ Btu/hr.}$$

$$\text{Calor total: } \dots\dots\dots 442,800 \text{ Btu/hr.}$$

Calor húmico del aire a las condiciones de entrada al secador:

$$S = 0.240 \neq 0.446 \times 0.01 = 0.244 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\text{Cantidad de aire: } 442,800/0.244(250 - 120) = 14,000 \text{ lb/hr.}$$

Cálculo de la temperatura de bulbo mojado a las condiciones de salida del aire.

Cantidad de agua removida:

$$790(0.50 - 0.01) = 387 \text{ lb/hr.}$$

Humedad del aire que sale del secador:

$$0.01 \neq 387/14,000 = 0.038 \text{ lb. de agua/lb. de aire seco.}$$

lo cual corresponde a 50% de humedad relativa a 120°F. La temperatura de bulbo mojado a estas condiciones es de 100°F. Cálculo de la temperatura del aire en el punto donde para el secado superficial.

Calor requerido durante el secado constante:

$$790(0.50 - 0.26) \times 1,080 = 205,000 \text{ Btu/hr.}$$

Con esto la temperatura buscada será:

$$120 \neq (250 - 120)205,000/442,800 = 180^\circ\text{F}$$

Cálculo de los números de unidades de transferencia.

1- Condición de secado constante:

$$N' = 2.3 \log \frac{180 - 100}{120 - 100} = 1.38$$

2- Secado variable (falling-rate period)

$$\Delta t_m = \frac{(180 - 100) - (250 - 230)}{2.3 \log \frac{180 - 100}{250 - 230}} = 43.5^\circ\text{F}$$

$$N'' = (250 - 180)/43.5 = 1.61$$

El número total de unidades de transferencia será:

$$1.38 \neq 1.61 = \text{aprox. } 3.00$$

Cálculo del área transversal.- El área transversal requerida para el flujo de aire es determinada por división del total de aire por hora, entre la velocidad permisible para el aire:

$$A = M/G = 14,000/1,500 = 9.30 \text{ ft}^2$$

Se usarán bandejas cuadradas de 3' x 3', con una profundidad de 1", y una separación entre bandejas de 1.5". El número de bandejas por columna será:

$$x = \frac{9.30 - 3.30}{0.125 \times 3.30} \neq 1 = 16 \text{ bandejas.}$$

Estas bandejas irán colocadas, en columnas verticales, sobre camiones de base de 3' x 6'; por tanto cada camión llevará 2 columnas de 16 bandejas.

Cálculo de la longitud del túnel:

Longitud de una unidad de transferencia:

$$L_t = 19.5 \times 0.125 \times 1,500^{0.2} = 10.50 \text{ ft.}$$

Longitud total del túnel:

$$L = 3.00 \times 10.50 = 31.50 \text{ ft.}$$

La longitud del túnel se especificará en 30 ft de modo que puedan acomodarse 5 camiones.

Cálculo del tiempo de retención.

Material contenido en una bandeja:

$$4.3 \times 62.4 \times 9 \times 1/12 = 200 \text{ lbs. de material seco.}$$

Material total en el túnel en un instante dado:

$$32 \times 5 \times 200 = 32,000 \text{ lbs.}$$

$$\text{Tiempo de retención: } 32,000/790 = 40.5 \text{ horas.}$$

Intervalos de carga y descarga:

$$40.5/5 = 8.1 \text{ horas.}$$

En la práctica este intervalo se especificará en ocho horas.

c) Cálculo del área de calentamiento.

De la ecuación general:  $q = UAAt_m$

se tiene:  $A = q/UA t_m$

donde:  $A =$  área de calentamiento, expresada en  $\text{ft}^2$ .

$q =$  calor total de transferencia. En este caso

$$442,800 \times 1.1 = 487,100 \text{ Btu/hr. (El exceso del}$$

10% es para balancear las pérdidas en el secador),

$U =$  coeficiente total de transferencia de calor. Para

este tipo de problemas Reiger recomienda :

$U = h_m = 3.0$  (Apuntes de clase tomados al Ing. J. Vargas Figallo. Año 1956).

$\Delta t_m$  = temperatura media logarítmica calculada de las condiciones de entrada y salida de los fluídos en el precalentador.

Cálculo de  $\Delta t_m$  .- Gráfico auxiliar:

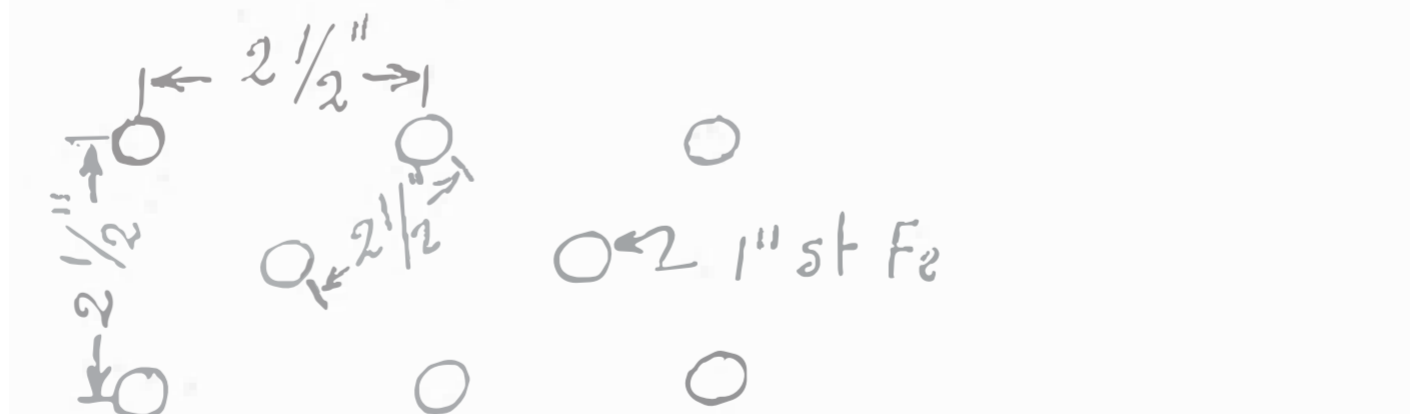


$$\Delta t_m = \frac{(280 - 60) - (280 - 250)}{2.3 \log(280 - 60) / (280 - 250)} = 96^\circ F.$$

Area de calentamiento.- Sustituyendo valores en la ecuación anteriormente propuesta se tiene:

$$A = 487,100 / 3.0 \times 96 = 1,670 \text{ ft}^2$$

El precalentador constará de un banco de tubos horizontales de 1" st. de acero, schedule # 40, separados entre sí 2 1/2" con una disposición como se muestra en el siguiente gráfico:



Número total de tubos de 3' de longitud:

$$1,670 / 3 \times 0.344 = 1,620 \text{ tubos.}$$

La disposición de estos tubos será perpendicular al flujo del aire.

Dimensiones del banco de tubos.- Area transversal, perpendicular al flujo de vapor:

- h L

donde tanto h como L están ligados al número de tubos x por la siguiente ecuación:

$$h \text{ ó } L = f(x) = \frac{x + 1.25(x - 1)}{12}$$

Si se toma una altura  $h = 6$  ft., se tendrá  $x = 32$  tubos, cabezas de 32 hileras de 40 tubos de 3 ft. de longitud, separados entre sí 2.5 pulgadas; lo que da una longitud total para el banco de 14.8 ft.

Especificación de la trampa de vapor:

Material: bronce.

Tipo: trampa de flotador.

Capacidad:  $487,000/924 = 530$  lb. de condensado/hr.

d) Cálculo y especificación del ventilador.

Volumen de aire utilizado a las condiciones de entrada a la operación de secado ( $250^{\circ}\text{F}$  y  $29.00''$  Hg barométrica):

$$\frac{14,000}{29 \times 60} \times 359 \times \frac{710 \times 29.92}{492 \times 29.00} = 4,200 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Especificación del ventilador:

N° 150 Sirocco, Serie 81, clase I, tipo DIDW.

Instalación: arreglo N° 3.

Designaciones de dirección:

- rotación: sentido de las agujas del reloj.
- descarga: "top angular down".

Impulsor de 15" de diámetro.

Capacidad: 4,200 CFM.

Presión estática: 2" de agua.

Velocidad de operación: 1,100 rpm.

Potencia: 2.26 bhp.

Velocidad periférica del impulsor: 4,330 ft/min.

Velocidad de descarga: 1,600 ft/min. (máxima).

e) Dimensiones del secador.

Area de terreno ocupada:	1.20 x 11.00	_	13.20 m <sup>2</sup>
Sección del túnel:	1.30 x 1.00	_	1.30 m <sup>2</sup>
Sección del ducto de aire:	1.00 x 2.00	_	2.00 m <sup>2</sup>
Altura del secador:			3.30 m.

• • •

Trituración del "cake".- Se usará una chancadora de martillos de las siguientes características:

Marca: Mikro-Pulverizer.

Fabricante: Pulverizing Machinery Co.

Número: 2 S.P.

Especificaciones:

Rango de capacidad: 1,500 a 8,000 lbs/hr.

Diámetro del rotor: 12".

Velocidad máxima: 6,900 rpm.

Tamaño de alimentación: menor de 1 1/2".

Tamaño de producto: entre mallas #s 8 y 18.

• • •

Calcinación del litopón.

a) Cálculo del horno.- Este es un caso de compromiso en el que debido a la relativamente exigua cifra de producción, y a las exigencias de la técnica de fabricación ha de emplearse una mufla rotatoria en trabajo semicontinuo. Los factores determinantes del diseño de este horno son:

1- Tiempo de retención del material en el horno.

2- Tiempo de calentamiento del horno; que es función del di-

seño de la cámara de combustión.

El tiempo de retención se asume en 15 minutos, repartidos en la siguiente forma:

Calentamiento hasta 725°C ..... 5 min.  
 Encandecimiento o calcinación,  
 Según especificaciones: Ullmann,  
 Othmer, Mattiello, etc. .... 10 min.  
 Total ..... 15 min.

De la ecuación de Sullivan se obtiene la siguiente expresión:

$$L/D' = \theta N S/z$$

Donde L y D', longitud y diámetro interno del horno, son incógnitas cuya relación se calcula a partir de los valores dados a continuación:

$$\theta = 15 \text{ minutos.}$$

$$N = 1 \text{ rpm.}$$

$$S = 1/32 \text{ ft/ft.}$$

$$z = 0.24$$

Efectuando operaciones indicadas:

$$L/D' = 1.95, \text{ prácticamente } \underline{2.0}$$

Diseño de la cámara de combustión.- Los factores que determinan su diseño son:

- 1- Temperatura actual de llama.
- 2- Relación de quemado del combustible, expresada en lb/hr.

Para facilitar el cálculo se asume lo siguiente:

- 1- La combustión se realizará en condiciones adiabáticas.
- 2- La relación de quemado del combustible será de 200 lb de F.O.5 por hora.
- 3- Eficiencia de calentamiento: 60%.



De Perry op. cit. pág. 1600, tabla #4 se obtiene:

Rango de "heat-release": 30,000 - 40,000 Btu/hr.ft<sup>3</sup>.

Volumen de la cámara: 200 x 19,200/30,000 = 128 ft<sup>3</sup>

Forma y dimensiones: cubo de 5' de arista.

Capacidad máxima de combustión: 125 x 40,000/19,200 = 260 lb/hr.

Construcción: Firebrick 9"  
 sil-o-cel 4 1/2"  
 ladrillo rojo 4"

Calentamiento de la cámara de combustión:

	Peso (lbs)	$\frac{Q}{W \Delta T}$ (Btu/lb°F)	$\Delta T$ (°F)	Q (Btu)
Firebrick	13,000	0.235	1960	5,800,000
sil-o-cel	4,050	0.125	950	450,000
ladrillo rojo	12,600	0.170	300	515,000
Total	29,650	-	-	6,765,000

Cantidad de petróleo requerido:

$$6,765,000 / 0.60 \times 18,140 = 620 \text{ lbs. de F.O.5}$$

Pérdida de calor a través de las paredes de la cámara:

$$q = \frac{At}{R_1 + R_2 + R_3}$$

donde:  $At = 2420 - 200 = 2220 \text{ °F.}$

$$R_1 = 0.75/6 \times 25 \times 0.62 = 0.0081$$

$$R_2 = 0.38/6 \times 43 \times 0.13 = 0.0114$$

$$R_3 = 0.33/6 \times 53 \times 0.50 = 0.0021$$

$$ER = \dots\dots\dots 0.0216$$

Sustituyendo y efectuando sale:

$$q = 103,000 \text{ Btu/hr.}$$

Determinación del diseño más conveniente. • Partiendo de la rela-

ción  $L/D' = 2.0$  se desarrollaron cálculos para  $D' = 3.0'$  y  $D' = 3.5'$ .  
 Los resultados de estos cálculos se dan en la siguiente tabla:

Tópicos	Indicaciones	Horno A	Horno B	Observaciones.
Dimensiones	Cámara de Combustión.	125 ft <sup>3</sup> refrac. 9"	125 ft <sup>3</sup> refrac. 9"	Dimensiones internas
	Horno (casco)	D' = 3'00" L = 6'00" refrac. 6"	D' = 3'06" L = 7'00" refrac. 6"	,,
	Mufla	D' = 1'06" L = 6'00" e = 03"	D' = 1'06" L = 7'00" e = 03"	,,
Calentamiento.	Cámara de Combustión.	6,765x10 <sup>3</sup> Btu	6,765x10 <sup>3</sup> Btu	-
	Horno (casco)	921x10 <sup>3</sup> Btu	1,165x10 <sup>3</sup> Btu	Incluye la mufla.
	Total:	7,686x10 <sup>3</sup> Btu	7,930x10 <sup>3</sup> Btu	
Pérdidas de calor.	Paredes de la Cámara	103x10 <sup>3</sup> Btu	103x10 <sup>3</sup> Btu	-
	Id. del horno	62x10 <sup>3</sup> Btu	123x10 <sup>3</sup> Btu	-
	Total:	165x10 <sup>3</sup> Btu	226x10 <sup>3</sup> Btu	-
Tiempos	Calentamiento	2h 45'	3h 00'	Horno A: 260 lb F/0.5 Horno B: 250 lb F.0.5
	Operación del horno en proceso.	5h 25'	5h 00'	-
	Total:	8h 00'	8h 00'	-
Capacidad	Requerida por la operación	900 lbs.	950 lbs.	-
	Máxima del diseño	760 lbs.	1,440 lbs.	12% del volumen útil del horno.
	Conveniencia	NO	SI	-

Especificación detallada del horno:

Casco.- Dimensiones:

Diámetro interno: 3' 06"

Diámetro externo: 4' 06" (nominal).

Longitud: 7' 00"

Volumen interior del casco: 67 ft<sup>3</sup>.

Construcción.- Refractario: ladrillo neutro de alúmina de 6" de espesor.

Chapa metálica de 3/8" de espesor. Esta chapa es de una aleación resistente al calor. Para este uso específico hay 2 aleaciones recomendables:

1- 35% Ni; 15% Cr.; 50% acero de 0.8% C.

2- 25% Cr; 12% Ni; 63% acero de 0.8% C.

Mufla.- Dimensiones:

Diámetro interno: 1' 06"

Diámetro externo: 2' 00"

Longitud: 7' 00"

Volumen interno: 12.40 ft<sup>3</sup>.

Volumen externo: 22.00 ft<sup>3</sup>.

Construcción.- Carborundum grado A de 3" (Norton Mfg. Co.)

Punto inicial de deformación: 2740°F.

Volumen útil del horno: 67.00 - 22.00 = 45.00 ft<sup>3</sup>

Capacidad a plena carga:

0.12 x 45 x 4.3 x 62.4 = 1,440 lbs.

b) Precalentamiento del aire de combustión.

Con un precalentamiento de 300°C se consigue una temperatura teórica de llama de 1330°C (2420°F) apropiada para lograr en el

horno la temperatura de encandecimiento del litopón. No es aconsejable por razones estructurales, un precalentamiento por encima de los 300°C.

Cálculo del precalentador:

$$G = 1,500 \text{ lb/hr/ft}^2 \text{ de sección.}$$

$$U = 0.5 + 0.0005 \times 1,500 = 1.25 \text{ Btu/hr./ft}^2/\text{°F} \text{ (Perry op. cit. pág 1642)}$$

$$q = \frac{114 \times 13.9 \times 7.0(570 - 60)}{29} = 195,000 \text{ Btu/hr.}$$

$$\Delta t = 1200 - 60 = 1140 \text{ °F}$$

$$\text{Area de calentamiento: } 195,000/1.25 \times 1140 = 136 \text{ ft}^2.$$

Se utilizarán tubos de acero de 1" st. sch. # 40 de 4' de longitud.

El aire circulará por el interior de los tubos en contra-corriente con los gases de combustión que pasarán entre los tubos. El número de tubos a utilizar será:  $136/0.344 \times 4 = 100$  tubos.

c) Calor requerido para el encandecimiento.- Por kilogramo de litopón bruto tratado se tiene:

$$(0.70 \times 0.181 + 0.30 \times 0.140)(725 - 15) = 120 \text{ Kcal/Kg.}$$

Cifra que corresponde a: 476 Btu/Kg.

$$216 \text{ Btu/lb.}$$

d) Cantidad de petróleo requerido.- Se calcula mediante un balance de calor para una hora de operación. La cantidad de material a tratar será:  $19,000/5 = 3,800 \text{ lbs/hr.}$ , que equivale a un 66% de la capacidad de trabajo del horno a plena carga (El material ocupa el 8% del volumen útil del horno). La temperatura base será de 60°F.

Entrada

Entalpía del aire seco a 500°C:

$$3,063 \times 3,800X \dots\dots\dots 11,600,000X$$

Entalpía de la humedad en el aire:

0.12 x 1,490 x 3,800X ..... 680,000X  
 Poder calorífico del combustible:  
 19,200 x 3,800X .....73,000,000X  
 Total ..... 85,280,000X

Salida

Calor requerido por el encandecimiento:  
 3,800 x 216 ..... 820,000 Btu  
 Total de pérdidas a través de las paredes: ..... 226,000 ,,  
 Entalpía en los humos de combustión:  
 11,750 x 3,800X = 44,800,000X  
 Pérdidas por otros conceptos:  
 19,200 x 3,800 x 0.05X = 3,650,000X  
 Total: ..... 48,450,000X = 1,046,000 Btu

Igualando términos:

$$85,280,000X = 48,450,000X + 1,046,000$$

$$\therefore X = 0.029 \text{ lb. de F.O.5/lb. de litopón bruto.}$$

Petróleo total para una hora de operación:

$$3,800 \times 0.029 = 114 \text{ lbs.}$$

Petróleo total por día:

$$730 \div 5 \times 114 = 1,300 \text{ lbs.}$$

e) Especificación de los ventiladores.

El extractor que removerá los gases de combustión tiene las siguientes características:

Marca: Industrial Fan.

Fabricante: American Blower Corp., Mi., U.S.A.

Impulsor tipo AH de 13".

Capacidad: 1,000 CFM. a 1000°F y 29" Hg.

Presión estática: 2" de agua.

Velocidad: 849 rpm.

Potencia 0.54 bhp.

El aire para la combustión será suministrado por un ventilador Sirocco N° 75 tipo SISW.

Instalación: arreglo N° 4.

Designaciones de dirección:

- rotación: sentido contrario a las agujas del reloj.
- descarga: fondo horizontal.

Impulsor de 7 1/2" de diámetro.

Capacidad: 880 CFM a 600°F y 29.0" Hg barométrica.

Presión estática: 2" de agua.

Velocidad de operación: 3,160 rpm.

Potencia: 0.55 bhp.

Velocidad periférica del impulsor: 6,200 ft/min.

Velocidad de descarga: 1,900 ft/min.

f) Balance de calor por día de operación.

Temperatura base: 60°F.

Entrada

Entalpía del aire seco:

3,063 x 1,300 ..... 4,100,000 Btu ..... 13.89%

Entalpía de la humedad contenida en

el aire: 0.12 x 1,490 x 1,300 = ..... 240,000 Btu ..... 0.81%

Entalpía total del aire: ..... 4,340,000 Btu ..... 14.70%

Poder calorífico del combustible:

19,200 x 1,300 ..... 25,200,000 Btu ..... 85.30%

Total de entrada ..... 29,540,000 Btu .... 100.00%

Salida

Calentamiento del horno y de

la cámara de combustión ..... 7,930,000 Btu .... 26.80%

Calor requerido por el encandecimiento:

19,000 x 216 = ..... 4,100,000 Btu .... 13.90%

Entalpía en los humos de combustión:

11,750 x 1,300 = ..... 15,300,000 Btu .... 52.00%

Total de pérdidas a través de las

paredes: ..... 1,130,000 Btu .... 3.70%

Pérdidas por otros conceptos: ..... 1,260,000 Btu .... 4.10%

Total salida: ..... 29,720,000 Btu .... 100.00%

Calor reciclado: 4,340,000 - 132,000 = 4,208,000 Btu.

Calor total perdido: 11,092,000 + 1,130,000 + 1,260,000 =  
= 13,482,000 Btu.

Eficiencia total basada en el P.C.T. = 13.90%.

Eficiencia del horno en operación (F.C.T.) =  $\frac{4,100,000 \times 100}{13,482,000 + 4,100,000}$   
= 23.30%

g) Cálculo del motor para mover la mufla.

Peso del horno ..... 7,300 lbs.

Peso del material en el horno: 1,440 lbs.

Peso Total ..... 8,740 lbs.

Potencia: 8,740 x 4.5 x  $\pi/33,000$  = 3.75 bhp.

Se utilizará pues un motor de 5 hp., marca Westinghouse con las características que se dan a renglón seguido:

Rotor en cortocircuito.

Arranque por control remoto.

Para C.A. trifásica, de 220 voltios y frecuencia de 60 ciclos.

Energía consumida en la operación:

$$3.75 \times 5 \times 0.746 = 14.00 \text{ Kwatt-hora/día.}$$

. . .

Temperado del litopón.

Cantidad de agua requerida:

$$820,000 / (170 - 60) 2.2 = 3,400 \text{ lts/hr.}$$

Tanque de enfriamiento.- Dimensiones:

Longitud: 3.00 m.

Ancho: 1.00 m.

Profundidad: 0.30 m.

Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 lts de lejía de sulfuro de bario

Entrada

Litopón calcinado .....	330.86 Kgrs
Agua de temperado .....	293.00 Kgrs
Total .....	623.00 Kgrs

Salida

Alimentación al circuito de molienda .....	623.00 Kgrs
--	-------------

. . .

Molienda en húmedo.- Se empleará un circuito de molienda que consta de un molino de tubo, un clasificador y un hidroseparador. Las características del equipo a utilizar serán:

Molino de tubo de guijarros.

Marca: Allis-Chalmers. Fabricante: Allis-Chalmers Mfg. Co., Wisconsin.

Número: 510

Especificaciones:



Capacidad: 18 ton/24 hr.

Diámetro interno: 4' 06"

Diámetro externo: 5' 00"

Longitud del tubo: 12' 00"

Forro interior: blocks de sílex.

Distancia entre los pernos de anclaje de las silletas: 13' 01"

Radio del caracol: 48".

Velocidad de operación: 32 rpm. a 88% de la velocidad crítica de operación.

Carga de guijarros: 960 lbs/ft de longitud del molino.

Potencia requerida: 15 "hp run".

Características del clasificador:

Marca: Hardinge.

Tipo: 3' x 8'

Pendiente: 1.25 in/ft.

Velocidad: 2 rpm.

Potencia: 2 hp.

Características del hidroseparador:

Tanque de madera de pino con sunchos de acero.- Dimensiones:

altura: 2.00 m.

diámetro: 3.80 m.

Agitador: 4 "raking arms" con 5 paletas cada uno.

Motor.- De C.A., monofásico, de 1/4 hp.

• • •

2a. Decantación.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 litros de lejía de sulfuro de bario.

Entrada

Suspensión de litopón .....	623.00 Kg
Agua de lavado .....	1,360.00 Kg
<b>Total</b> .....	<b>1,983.00 Kg</b>

Salida

Lodos a filtrar .....	700.00 Kg
Solución residual .....	1,283.00 Kg
<b>Total</b> .....	<b>1,983.00 Kg</b>

b) Especificación de equipo:

Batería de tres tanques de madera.

Sistema: decantación en contracorriente.

Operación semicontinua: 8 horas por día.

Dimensiones de los tanques:

Altura: 1.00 m.

Diámetro: 1.50 m.

Area base: 1.80 m<sup>2</sup>.

Motor de 1/2 hp. para los agitadores.

Bombas de diafragma para el servicio de la batería:

Número de bombas: 2 para 15 gpm.

Marca y tipo: Dorrco VM.

Tamaño: 2

Carrera máxima: 1 3/4"

Carrera mínima: 1/2"

Capacidad máxima: 4.50 ft<sup>3</sup>/min.

Capacidad mínima: 1.17 ft<sup>3</sup>/min.

Potencia requerida por unidad: 1.0 bhp.

Bomba de lodos para la alimentación de los filtros prensa:

Marca y tipo: Wirthco LKE 2 3/4 x 3".

Diámetro del cilindro: 1 3/4"

Capacidad: 5.6 gpm.

Potencia actual: 2.3 bhp.

. . .

2a. Filtración y lavado del litopón calcinado y molido.

Se empleará el mismo régimen de trabajo y equipo descritos en la primera operación de filtración del litopón. También se utilizará la misma cantidad de agua requerida por dicha operación.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: 1,000 litros de lejía de sulfuro de bario.

Entrada

Lodos a filtrar .....	700.00 Kgrs.
Agua para lavado .....	660.00 Kgrs.
Total .....	1,360.00 Kgrs.

Salida

"Cake" húmedo .....	446.00 Kgrs.
Agua del lavado y filtrado .....	914.00 Kgrs.
Total .....	1,360.00 Kgrs.

. . .

2° Secado del litopón.

a) Balance de materias.- Base de cálculo: la misma empleada en el balance anterior.

Entrada

"Cake" con 35% de humedad en base seca .....	446.00 Kgrs.
--	--------------

Salida

"Cake" con 1% de humedad en base seca .....	333.00 Kgrs.
---	--------------

Continuación del balance de materias:

Agua evaporada ..... 113.00 Kgrs.  
 Total ..... 446.00 Kgrs.

b) Cálculo del secador.- Se utilizará un secador de túnel. El aire entrará al secador a 250°F y una humedad absoluta de 0.01 lb agua por lb de aire seco. El "cake" será alimentado en bandejas soportadas por carros o camiones de 3' x 6', en forma tal de tener un secado en contracorriente. La humedad inicial del "cake" será de 0.35 lb agua/lb sólido seco. Otros datos requeridos por el problema, que aquí se plantea, son:

Humedad crítica ..... 0.065 lb agua/lb sólido seco.  
 Humedad de equilibrio ..... 0.0004 ,, ,,  
 Humedad final ..... 0.010 ,, ,,  
 Temperatura de salida del aire: 120°F  
 Temperatura de salida del material: 230°F

Capacidad de secado: 790 lb/hr de material en base seca.

Cálculo de la cantidad de aire.

Calor para evaporar la humedad:

$$790(0.35 - 0.01) \left[ (212 - 60) + 970 + 0.45(120 - 212) \right] = 290,000 \text{ Btu/hr.}$$

Calor para elevar la temperatura del material:

$$0.17 \times 790(230 - 60) = 22,800 \text{ Btu/hr.}$$

Calor total requerido: ..... 312,800 Btu/hr.

Cantidad de aire:  $312,800 / 0.244(250 - 120) = 9,850 \text{ lb/hr.}$

Cálculo de la temperatura de bulbo mojado a las condiciones de salida del aire.

Cantidad de agua removida:

$$790(0.35 - 0.01) = 270 \text{ lb/hr.}$$

Humedad que sale del secador:

$$0.01 \neq 270/9,850 = 0.038 \text{ lb agua/lb de aire seco.}$$

lo cual corresponde a 50% de humedad relativa a 120°F. La temperatura de bulbo mojado a estas condiciones es de 100°F.

Cálculo de la temperatura del aire en el punto donde para el secado superficial.

Calor requerido durante el secado constante:

$$790(0.35 - 0.065)1,080 = 243,000 \text{ Btu/hr.}$$

Luego, la temperatura buscada será:

$$120 \neq (250 - 120)243,000/312,800 = 221^\circ\text{F.}$$

Cálculo de los números de unidades de transferencia.

1- Condición de secado constante:

$$N' = 2.3 \log(221 - 100)/(120 - 100) = 1.79$$

2- Período de secado variable:

$$\Delta t_m = \frac{(221 - 100) - (250 - 230)}{2.3 \log(221 - 100)/(250 - 230)} = 56.5^\circ\text{F}$$

$$N'' = (250 - 221)/56.5 = 0.51$$

Número total de unidades de transferencia:

$$EN = N' \neq N'' = 1.79 \neq 0.51 = 2.30$$

Area transversal del secador:

$$9,850/1,500 = 6.60 \text{ ft}^2$$

Se usarán bandejas cuadradas de 3' x 3', de 1" de profundidad y con un espacio entre bandejas de 1.5".

El número de bandejas a utilizar será:

$$x = \frac{6.60 - 3.30}{0.125 \times 3.30} \quad 1 = 9 \text{ bandejas.}$$

Estas bandejas irán colocadas en columna vertical, sobre camiones, de 3' x 6' de base, con capacidad de carga para dos colum-

nas de 9 bandejas cada una.

Cálculo de la longitud del túnel.

Longitud de una unidad de transferencia:  $L_t = 10.50$  ft.

Longitud total del túnel:

$L = 2.30 \times 10.50 = 24$  ft.

Por tanto podrán acomodarse 4 camiones dentro del túnel.

Cálculo del tiempo de retención del material en el túnel.

Material contenido en una bandeja: 200 lbs. (base seca).

Material total en el túnel en un instante dado:

$18 \times 4 \times 200 = 14,400$  lbs.

Tiempo de retención:  $14,400/790 = 18.3$  horas.

Frecuencia de carga y descarga:  $18.3/4 = 4.6$  horas.

c) Cálculo del área de calentamiento.

Calor requerido por el secado: **312,800 Btu/hr.**

Pérdidas en el secador por

diversas causas: 31,300 Btu/hr.

Calor total de transferencia: 343,100 Btu/hr.

Area de calentamiento:  $343,100/3.0 \times 96 = 1,190$  ft<sup>2</sup>.

El precalentador será un banco de tubos de 1" st. sch. # 40, separados entre sí 2 1/2". El número total de tubos de 3' de longitud, será:

$1,190/0.344 \times 3 = 1,160$

Dimensiones del banco de tubos.- Area transversal, perpendicular al flujo de vapor:

$$A = h L$$

Si se toma  $h = 5$  ft., se tendrá:  $L = 16.7$  ft;  $A = 83.5$  ft<sup>2</sup>.

Especificación de la trampa de vapor:

Material: bronce.

Tipo: trampa de flotador.

Capacidad:  $343,100/924 = 370$  lb. de condensado/hr.

d) Cálculo y especificación del ventilador.

Volumen de aire utilizado a las condiciones de entrada a la operación de secado. (250°F y 29.00" Hg barométrica).

$$\frac{9,850 \times 359 \times 710 \times 29.92}{29 \times 60 \times 492 \times 29.00} = 3,000 \text{ CFM}$$

Especificación del ventilador:

N° 122 Sirocco, serie 81, clase I, tipo DIDW.

Instalación: arreglo N° 3.

Designaciones de dirección:

- rotación: sentido de las agujas del reloj.
- descarga: "top angular down"

Impulsor de 12 1/4 " de diámetro.

Presión estática: 2" de agua.

Velocidad de operación: 1,360 rpm.

Potencia: 1.62 bhp.

Velocidad periférica del impulsor: 4,350 ft/min.

Velocidad máxima de descarga: 1,700 ft/min.

e) Dimensiones del secador.

Area de terreno ocupada:  $1.20 \times 9.00 = 10.80 \text{ m}^2$

Sección del túnel:  $0.90 \times 1.00 = 0.90 \text{ m}$

Sección del ducto de aire:  $1.00 \times 1.60 = 1.60$

Altura del secador:  $0.90 + 1.60 = 2.50 \text{ m.}$

f) Cálculo del caldero.

Consumo de vapor en el 1<sup>er</sup>. secado: 530 lb/hr.

Consumo de vapor en el 2<sup>o</sup>. secado: 370 lb/hr.

Consumo total de vapor: 900 lb/hr.

Capacidad del caldero:  $900/34.5 = 26$  boiler hp.

Calor requerido:

1- Para producción de vapor saturado a 280°F y 50 psia.:

$$900 \times 1,174.1 = 1,050,000 \text{ Btu/hr.}$$

2- Para cubrir pérdidas diversas:

$$0.50 \times 1,050,000 = 525,000 \text{ Btu/hr.}$$

Total requerido: 1,050,000 + 525,000 = 1,575,000 Btu/hr.

Cantidad de petróleo:  $1,575,000/18,140 = 92$  lb F.O.5/hr.

$$= 11.80 \text{ gal/hr.}$$

Volumen de los gases de combustión:

$$\frac{92 \times 13.9 \times 1.2 \times 359 \times 1,060 \times 29.92}{29 \times 60 \times 492 \times 29.00} = 690 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Especificación del caldero:

Caldero de tubo de fuego, tipo económico.

Marca: Erie City.

Fabricante: Erie City Iron Works.

Capacidad: 29 boiler hp.

Superficie de calentamiento: 240 ft<sup>2</sup>

Presión: 40.3 psig.

Instrumentos de control Foxboro.

Ablandador automático Permutit de zeolita sódica, con todos sus accesorios.

Extractor para el tipo: Sirocco UPB, tipo C, de las siguientes características:

Capacidad: 715 CFM (600°F y 29.00" Hg barométrica).



507 CFM a condiciones standard.

Presión estática: 2" de agua.

Velocidad de operación: 4,860 rpm.

Potencia: 0.70 bhp.

Velocidad de descarga: 8,200 ft/min.

. . .

Molienda.- Previamente el "cake" se desmenuza manualmente y se alimenta a un molino de los llamados "ring roller". Este molino tendrá las siguientes características:

Marca: Raymond.

Fabricante: Combustion Engineering Inc., Raymond Div., 1318 No.,  
Branch St., Chicago 22, Ill.

Capacidad: 5,000 lb/hr.

Potencia: 25 hp-hr/ton.

Fineza del producto: 0.1% sobre malla N° 325.

Sistema de clasificación por aire.

. . .

Envasado.- Se utilizará una llenadora de bolsas St. Regis de las siguientes características:

Tipo: de tornillo, de dos tubos.

Número: 402 - PS.

Capacidad de producción: 2 bolsas de 100 lb/min.

- . - . - . -

**B.- SUMARIO DE BALANCE DE MATERIAS.**

**SECCION N° 1.- Obtención de la lejía de sulfuro de bario:**

Base de cálculo: 1,000 Kgrs. de baritina procesada.

**Entrada**

**Proceso de reducción de la baritina a sulfuro de bario:**

Baritina .....	1,000.00 Kg.	.....	30.65%
Antracita .....	250.00 Kg.	.....	7.70%
Aditivos (NaCl, Agua)....	112.50 Kg.	.....	3.05%
Fuel oil .....	127.00 Kg.	.....	3.85%
Aire seco .....	1,760.00 Kg.	.....	54.30%
· Humedad en el aire	15.20 Kg.	.....	0.45%
<b>Total del proceso:</b>	<b>3,264.70 Kg.</b>	<b>.....</b>	<b>100.00% .....</b>

**Proceso de lixiviación:**

Agua .....	3,450.00 Kg.	.....	51.14%
------------	--------------	-------	--------

**Corrección de la lejía:**

Sulfuro de sodio:	24.10 Kg.	.....	0.36%
-------------------	-----------	-------	-------

<b>Total entrada:</b> .....	<b>6,738.80 Kg.</b>	<b>.....</b>	<b>100.00%</b>
-----------------------------	---------------------	--------------	----------------

**Salida**

**Proceso de reducción:**

Humos .....	2,500.00 Kg.	.....	37.00%
-------------	--------------	-------	--------

**Proceso de lixiviación:**

Residuos insolubles:	115.62 Kg.	.....	54.00%
----------------------	------------	-------	--------

Productos gaseosos:	98.00 Kg.	.....	46.00%
---------------------	-----------	-------	--------

<b>Total de lixiviación:</b>	<b>213.62 Kg.</b>	<b>.....</b>	<b>100.00% .....</b>
------------------------------	-------------------	--------------	----------------------

**Almacenamiento de**

la lejía: .....	4,016.00 Kg.	.....	60.00%
-----------------	--------------	-------	--------

<b>Total salida:</b> .....	<b>6,729.00 Kg.</b>	<b>.....</b>	<b>100.00%</b>
----------------------------	---------------------	--------------	----------------

## SECCION N° 2.- Obtención de la solución de sulfato de zinc.

## Bases de cálculo

	1,000 Kg. concentrados	1,000 Kg. baritina.	% p. peso.
<u>Entrada</u>			
Proceso de desulfuración:			
Concentrados de zinc	1,000.00 Kg	450.00 Kg	
Fuel oil	71.00 Kg	32.00 Kg	
Aire seco	2,590.00 Kg	1,170.00 Kg	
Humedad en el aire	23.00 Kg	10.40 Kg	
Total del proceso	3,648.00 Kg	1,662.40 Kg	24.60
Proceso de lixiviación:			
Acido sulfúrico 66°Bé	940.00 Kg	425.00 Kg	
Agua	9,000.00 Kg	4,050.00 Kg	
Total del proceso	9,940.00 Kg	4,475.00 Kg	66.00
Proceso de depuración:			
Cal magra (95% CaO)	47.00 Kg	21.00 Kg	
Cloruro de sodio	34.00 Kg	15.30 Kg	
Polvo de zinc	2.25 Kg	1.02 Kg	
Total del proceso	83.25 Kg	37.32 Kg	0.55
Lavado de los residuos retenidos en el filtro:			
Agua	1,340.00 Kg	600.00 Kg	8.85
Total entrada	15,047.25 Kg	6,774.72 Kg	100.00
<u>Salida</u>			
Proceso de desulfuración:			
Humos	1,835.60 Kg	830.00 Kg	12.20

Continuación del balance de materias de la sección N° 2:

	Bases de cálculo		
	1,000 Kg. concentrados	1,000 Kg baritina.	% p. peso
<b>Proceso de lixiviación:</b>			
H <sub>2</sub> S	56.00 Kg	25.00 Kg	
Residuos insolubles	37.60 Kg	16.90 Kg	
Total del proceso	93.60 Kg	41.90 Kg	0.61
<b>Proceso de depuración:</b>			
Residuos (base seca)	177.00 Kg	79.50 Kg	1.16
<b>Lavado (Op):</b>			
Agua retenida por los residuos sólidos	80.00 Kg	36.00 Kg	0.53
<b>Almacenamiento (Op):</b>			
Solución de ZnSO <sub>4</sub>	12,840.00 Kg	5,800.00 Kg	85.50
Total salida	15,025.60 Kg	6,787.40 Kg	100.00

• • •

SECCION N° 3.- Obtención del litopón

	Bases de cálculo		
	1,000 lts. lejía de BaS	1,000 Kg. baritina.	% p. peso.
<u>Entrada</u>			
<b>Proceso de coprecipitación:</b>			
Lejía de BaS	1,081.30 Kg	4,000.00 Kg	
Sulfato de zinc (sol).	1,560.00 Kg	5,750.00 Kg	
Total del proceso:	2,641.30 Kg	9,750.00 Kg	14.80
<b>Operaciones de decan- tación, filtración y lavado:</b>			

## Continuación del balance de materias de la sección N° 3:

	Bases de cálculo		% p. peso
	1,000 lts. lejía de BaS	1,000 Kg baritina.	
Agua requerida	4,041.00 Kg	<del>14,880.00 Kg</del>	22.70
Operaciones de secado:			
Aire para los secadores	9,950.00 Kg	36,800.00 Kg	
Aire para la combustión en el caldero:	640.00 Kg	2,360.00 Kg	
Combustible para el caldero:	38.50 Kg	142.00 Kg	
Vapor para los secadores	375.00 Kg	1,390.00 Kg	
Suma parcial:	11,003.50 Kg	40,692.00 Kg	60.00
Calcinación (Op):			
Combustible para la mufla	9.90 Kg	36.50 Kg	
Aire para la combustión	138.00 Kg	510.00 Kg	
Suma parcial:	147.90 Kg	546.50 Kg	0.84
Temperado (Op):			
Agua	293.00 Kg	1,080.00 Kg	1.66
Moliendas (Op):			
Aditivos (Cloruro de calcio y azul de ultramar).	0.31 Kg	1.13 Kg	0.002
Total de entrada:	18,127.01 Kg	<del>66,949.63 Kg</del>	100.00

SalidaOperaciones de decan-  
tación, filtración y  
lavado:

Residuos líquidos 6,352.00 Kg 23,400.00 Kg 35.60

Operaciones de secado:

Aire húmedo (50% humedad  
a 120°F). 10,225.00 Kg 37,820.00 Kg

Continuación del balance de materias de la sección N° 3:

Bases de cálculo			
	1,000 lts. lejía de BaS	1,000 Kg baritina.	% p. peso
Humos del caldero	678.50 Kg	2,502.00 Kg	
Agua de condensación	375.00 Kg	1,390.00 Kg	
<b>Total Op. de secado:</b>	<b>11,278.50 Kg</b>	<b>41,712.00 Kg</b>	<b>61.70</b>
<b>Calcínación(Op):</b>			
Humos de la mufla	147.90 Kg	546.50 Kg	0.83
<b>Almacenamiento (Op):</b>			
Litopón acabado	333.00 Kg	1,230.00 Kg	1.87
<b>Total salida</b>	<b>18,113.40 Kg</b>	<b>66,888.50 Kg</b>	<b>100.00</b>

Balance total de material en términos generales.

Nota.- No se considera el petróleo requerido por el calentamiento de los hornos y el caldero.

Bases de cálculo			
	1,000 Kg baritina	1,000 Kg litopón.	% p. peso
<u>Entrada</u>			
Baritina .....	1,000 Kg .....	810.00 Kg ....	1.40
Antracita .....	250.00 Kg ...	203.00 Kg ....	0.35
Concentrados de blenda ...	450.00 Kg ...	365.00 Kg ....	0.65
Acido sulfúrico .....	425.00 Kg ...	345.00 Kg ....	0.61
Sulfuro de sodio .....	24.10Kg ...	19.40 Kg ....	0.04
Cloruro de sodio .....	27.80 Kg ...	22.60 Kg ....	0.04
Cal magra .....	21.00 Kg ...	17.00 Kg ....	0.03
Polvo de zinc .....	1.02 Kg ...	0.83 Kg ....	0.001

Continuación del balance total de materias en términos generales:

	Bases de cálculo		
	1,000 Kg. baritina.	1,000 Kg. litopón.	% p. peso
Cloruro de calcio .....	1.10 Kg ...	0.89 Kg ....	0.002
Azul de ultramar .....	0.03 Kg ...	0.02 Kg ....	-
Agua .....	25,550.00 Kg...	20,800.00 Kg ....	36.40
Aire (70% H. rel. a 60°F) .....	42,625.00 Kg...	34,500.00 Kg ....	60.00
Combustible .....	337.50 Kg ...	273.00 Kg ....	0.48
Total .....	70,689.15 Kg ...	57,337.74 Kg ....	100.00

Salida

Litopón .....	1,230.00 Kg....	1,000.00 Kg ....	1.81
Residuos insolubles (base seca) .....	212.52 Kg....	172.00 Kg ....	0.31
Aguas residuales .....	24,730.00 Kg....	20,000.00 Kg ....	35.00
Humos de hornos y del caldero .....	6,163.10 Kg....	5,000.00 Kg ....	8.70
Aire húmedo de los secadores .....	37,820.00 Kg....	30,500.00 Kg ....	54.00
Productos gaseosos desarrollados .....	126.00 Kg....	102.00 Kg ....	0.18
Total .....	70,281.62 Kg....	56,774.00 Kg ....	100.00

Cuadro de materias primas requeridas:

	Cifras calculadas de los balances		Cifras con 5% de exceso para cubrir pérdidas por dif. con.	
	30 días	300 días	30 días	300 días
Baritina	210 T.M.	2,100 T.M.	220 T.M.	2,200 T.M.
Antracita	52.5 T.M.	525 T.M.	55 T.M.	550 T.M.

Continuación del cuadro de materias primas:

	Cifras calculadas de los balances.		Cifras con 5% exceso para cu- brir pérdidas	
	30 días	300 días	30 días	300 días
Concentrados de blenda.	95 T.M.	950 T.M.	100.00 T.M.	1000 T.M.
Acidó sulfú- rico.	90 T.M.	900 T.M.	95 T.M.	950 T.M.
Cloruro de sodio.	5.85T.M.	58.5 T.M.	6.15T.M.	61.5T.M.
Sulfuro de sodio.	5.05T.M.	50.5 T.M.	5.30T.M.	53 T.M.
Cal magra.	4.42T.M.	44.2 T.M.	4.65T.M.	46.5T.M.
Polvo de zinc 215 Kgrs.		2.15T.M.	225 Kgrs.	2.25T.M.
Cloruro de calcio 230 Kg.		2.30T.M.	243 Kgrs.	2.43T.M.
Azul de ultramar.	5.20 Kg.	52 Kgrs.	5.45 Kg.	54.5 Kg.

Cálculo de la cifra de agua requerida por la fábrica.

Como ya se ha visto la obtención de una tonelada de litopón requiere de 20.80 m<sup>3</sup> de agua. Según esto la producción diaria necesita:  $2,600 \times 20.80 / 300 = 180 \text{ m}^3$  de agua.

lo que representa un consumo mensual de:  $180 \times 30 = 5,400 \text{ m}^3$ .

Esta cantidad puede ser reducida considerablemente si se reciclan las aguas residuales. Cada tonelada de litopón producido deja 20 T.M. de residuos líquidos, con un contenido de sales solubles comprendido entre un 1.0 y 2.0% por peso. Las sales solubles constituyen la única impureza de estas aguas residuales. El 40% de las sales es cloruro de sodio; y un 30% del resto lo constituyen sulfatos de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHSO<sub>4</sub>). El reciclaje se hará previo purga



do, de modo que la concentración de las sales, acumuladas a través de las operaciones y procesos, no exceda una cifra límite de 50 gr/lt.

La cantidad de agua a purgar será:

$$0.20 \times 20.00 = 4.00 \text{ m}^3/\text{T.M. de litopón.}$$

y el agua de reposición:

$$4.00 \div 0.80 = 4.80 \text{ m}^3/\text{T.M. de litopón.}$$

En estas condiciones el consumo mensual será de:

$$260 \times 4.80 = 1,250 \text{ m}^3$$

Cálculo del tanque colector de aguas residuales:

$$\text{Capacidad: } 8.55 \times 20.00/0.80 = 214 \text{ m}^3$$

Dimensiones.- altura: 3.00 m.

longitud: 10.00 m.

ancho: 7.00 m.

área base 70.00 m<sup>2</sup>

Ubicación.- El tanque estará ubicado bajo piso y será alimentado por un canal.

Bomba para la alimentación al tanque de abastecimiento:

Tipo: centrífuga.

Capacidad:  $8.55 \times 20,000/3.785 \times 8 \times 60 = 94 \text{ gpm.}$

Se especificará una bomba de 120 gpm. Worthington que trabajará con una carga total de 50 ft de agua (incluida fricción), accionada por motor de 2 hp.

Cálculo del tanque de abastecimiento de agua.

Capacidad: 100 m<sup>3</sup>

Dimensiones.- altura: 4.00 m.

ancho: 5.00 m.

longitud: 5.00 m.

área base: 25.00 m<sup>2</sup>

Altura sobre el nivel del piso: 6.00 m.

Cálculo del pozo.- La fuente de abastecimiento de agua será un pozo, cuya profundidad asumiremos en 40 metros, de acuerdo a la geología del lugar. El pozo requerirá de una bomba recíprocante de capacidad de:  $4,700 \times 8.55 / 3.785 \times 8 \times 60 = 22$  gpm.

Carga total: 200 ft de agua.

Características de la bomba:

Marca: Axelson.

Fabricante: Axelson Mfg. Co., California.

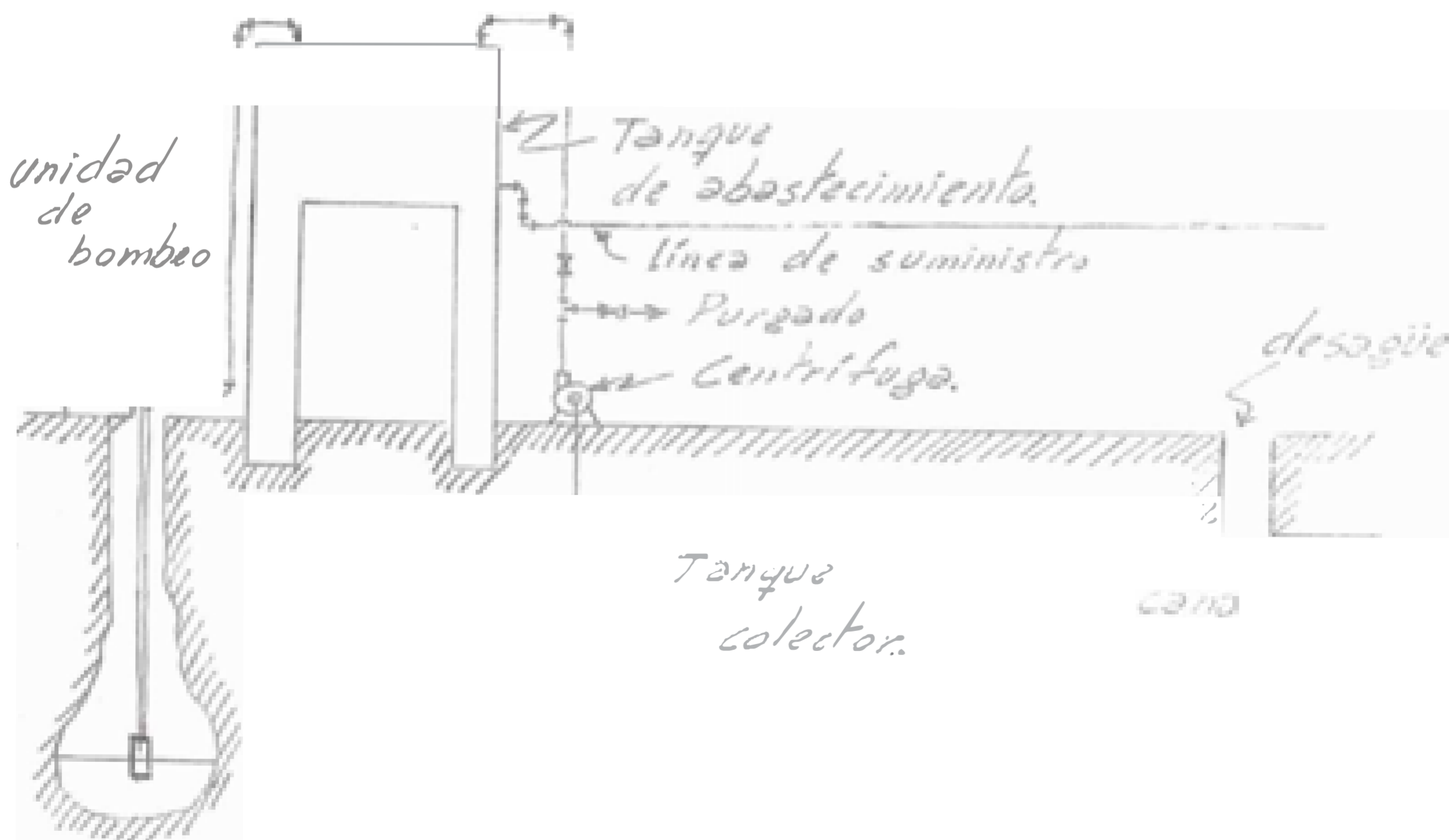
Tipo: 4-foot Hydax Jr.

Capacidad: 30 - 40 gpm.

Longitud de carrera: 4 ft, a 6 ciclos/min. (máxima).

Potencia del motor: 1.0 hp.

Esquema del abastecimiento de agua:



**Cálculo de la cifra total de combustible.**

De los balances y cálculos anteriores se pueden obtener las siguientes cifras:

	Mensual (30 días)	Annual (300 días)
Combustible para la operación de los 3 hornos	12,400 US gal	124,000 US gal
Id. para la operación del caldero	8,500 US gal	85,000 US gal
Calentamiento del horno rotatorio	3,600 US gal	36,000 US gal
Calentamiento del horno reverbero	2,230 US gal	4,460 US gal
Calentamiento del horno de mufla	2,800 US gal	28,000 US gal
Calentamiento del caldero	23.60 gal	236 US gal
<b>Totales</b>	<b>29,553.60 gal</b>	<b>277,696 US gal</b>

**SUMARIO DE BALANCE DE CALOR (No se considera el calentamiento de los hornos).**

**SECCION N° 1**

Bases de cálculo.- material: 1,000 Kg de baritina procesada  
temperatura: 60°F

**Entrada**

**Proceso de reducción:**

Entalpía del aire .....	9,000 Kcal. ....	
Poder calorífico del combustible:	1,960,000 Kcal.	
Total del proceso: .....	1,969,000 Kcal. ....	98.00%

**Proceso de lixiviación:**

Entalpía de la descarga del horno:	46,500 Kcal. ....	2.00%
------------------------------------	-------------------	-------

Continuación del balance de calor de la sección N° 1:

Total entrada ..... 2,015,500 Kcal. .... 100.00%

Salida

Proceso de reducción:

Calor requerido por  
las reacciones ..... 305,000 Kcal. .... 15.20%

Calor sensible en  
los humos ..... 840,000 Kcal. .... 41.70%

Pérdidas a través de  
procesos y operaciones  
(por diferencia) ..... 870,000 Kcal. .... 43.10%

Total salida ..... ~~2,015,500 Kcal.~~ .... 100.00%

SECCION N° 2.- Temperatura base: 60°F.

Bases de material

	1,000 Kg. concentrados	1,000 Kg. baritina	%
<u>Entrada</u>			
Proceso de desulfuración:			
Entalpía del aire	29,000 Kcal.	13,000 Kcal	
Poder calorífico del combustible	1,660,000 Kcal.	750,000 Kcal	
Calor de reacción	1,660,000 Kcal.	750,000 Kcal	
Total del proceso	<del>3,349,000 Kcal.</del>	<del>1,513,000 Kcal</del>	91.00
Proceso de lixiviación:			
Calor total de reacción	317,000 Kcal.	143,000 Kcal	9.00
Total entrada	3,666,000 Kcal.	1,656,000 Kcal	100.00

## Continuación del balance de calor de la sección N° 2:

## Bases de material

	1,000 Kg concentrados	1,000 Kg baritina	%
<u>Salida</u>			
Proceso de desulfuración:			
Entalpía en los humos	1,420,000 Kcal	640,000 Kcal	38.50
Calor disipado por causas diversas a través de procesos y operaciones	2,246,000 Kcal	1,010,000 Kcal	61.50
Total salida	3,666,000 Kcal	1,650,000 Kcal	100.00

## SECCION N° 3.- Temperatura base: 60°F.

## Bases de material

	1,000 lts lejía de BaS	1,000 Kg baritina	%
<u>Entrada</u>			
Proceso de coprecipitación:			
Calor de reacción	26,900 Kcal	100,000 Kcal	5.60
Operaciones de secado:			
Entalpía del aire para los secadores (70% Hr. a 60°F)	53,500 Kcal	197,000 Kcal	
Entalpía del vapor	244,000 Kcal	900,000 Kcal	
Total secado	297,500 Kcal	1,097,000 Kcal	61.70
Calcinación (Op):			
Entalpía del aire	23,200 Kcal	86,000 Kcal	
Poder calorífico del combustible	135,000 Kcal	500,000 Kcal	
Suma parcial			

Continuación del balance de calor de la sección N° 3:

	Bases de material		
	1,000 lts lejía de BaS	1,000 Kg baritina	
Suma parcial de calcinación	158,000 Kcal	586,000 Kcal	32.70
Total entrada	482,600 Kcal	1,783,000 Kcal	100.00
<u>Salida</u>			
Coprecipitación y decantación:			
Calor disipado	26,900 Kcal	100,000 Kcal	5.60
Operaciones de secado:			
Calor utilizado	176,000 Kcal	650,000 Kcal	
Entalpía del aire que sale de los secadores	88,000 Kcal	325,000 Kcal	
Pérdidas (por diferencia)	33,500 Kcal	122,000 Kcal	
Total secado	297,500 Kcal	1,097,000 Kcal	61.70
Calcinación (Op):			
Calor de encandecimiento	39,500 Kcal	146,000 Kcal	
Calor reciclado (precalentamiento del aire para la combustión)	20,500 Kcal	76,000 Kcal	
Calor total perdido	98,200 Kcal	364,000 Kcal	
Total calcinación:	158,200 Kcal	586,000 Kcal	32.70
Total salida:	482,600 Kcal	1,783,000 Kcal	100.00

Balance de calor en términos generales (No se considera el calentamiento de los hornos).

Temperatura base: 60°F.

Bases de material

	1,000 Kg baritina	1,000 Kg litopón	%
<u>Entrada</u>			
Procesos de combustión	6,098,000 Kcal	4,950,000 Kcal	86.00
Procesos de reacción exotérmica:			
Desulfuración de con- centrados de blenda	750,000 Kcal	608,000 Kcal	
Lixiviación del ZnO	143,000 Kcal	116,000 Kcal	
Coprecipitación del litopón	100,000 Kcal	<del>51,000 Kcal</del>	
Suma parcial	993,000 Kcal	805,000 Kcal	14.00
Total entrada	7,091,000 Kcal	5,755,000 Kcal	100.00
<u>Salida</u>			
Procesos de reacción endotérmica:			
Reducción de la baritina	305,000 Kcal	247,000 Kcal	4.35
Operaciones de secado:			
Calor utilizado	650,000 Kcal	525,000 Kcal	
Entalpía del aire húmedo	325,000 Kcal	263,000 Kcal	
Pérdidas por diferentes conceptos	122,000 Kcal	99,000 Kcal	
Total secado	1,097,000 Kcal	887,000 Kcal	15.50
Calor requerido para el encandecimiento del litopón	146,000 Kcal	<del>118,000 Kcal</del>	2.05
Calor sensible en los humos de los hornos y el caldero	1,824,000 Kcal	1,470,000 Kcal	25.70

Continuación del balance general de calor:

	Bases de material		%
	1,000 Kg baritina	1,000 Kg litopón.	
Pérdidas por radiación, convección y conducción a través de procesos y operaciones, excepto en talpía en los humos	3,719,000Kcal	3,033,000 Kcal	58.40
Total salida	7,091,000Kcal	5,755,000 Kcal	100.00

Energía mecánica requerida por día de operación.

SECCION N° 1.

Alimentador del silo de baritina .....	18.00 hp-hr
Molino de martillos .....	48.00 hp-hr
Tambor de mezcla .....	20.00 hp-hr
Alimentador del horno .....	27.50 hp-hr
Motor del horno .....	60.00 hp-hr
Ventiladores .....	28.40 hp-hr
Motor de los decantadores y tanque de lixiviación	2.75 hp-hr
Motor que acciona las bombas centrífugas .....	2.75 hp-hr
Total .....	207.40 hp-hr

SECCION N° 2.

Alimentador del silo de concentrados .....	8.40 hp-hr
Motor de los agitadores de las pozas de lixiviación y depuración .....	2.25 hp-hr
Motor de la bomba de diafragma .....	3.00 hp-hr
Total .....	13.65 hp-hr

SECCION N° 3.

Agitadores de las pozas de coprecipitación .....	1.33 hp-hr
--	------------



Continuación de la relación de energía mecánica requerida:

Agitadores de los tanques de decantación (las 2 baterías):	8.00hp-hr
Motores de las bombas de diafragma .....	56.00hp-hr
Motores de las bombas de lodos .....	36.80hp-hr
Triturador del "cake" .....	64.00hp-hr
Motor para mover la mufla .....	25.00hp-hr
Motor del alimentador de la mufla .....	15.00hp-hr
Molino de tubo .....	360.00hp-hr
Motor del clasificador Hardinge .....	48.00hp-hr
Agitador del hidroseparador .....	6.00hp-hr
Agitador de la poza de almacenamiento .....	4.00hp-hr
Molino "ring roller" .....	95.50hp-hr
Llenadora .....	0.75hp-hr
Ventiladores de mufla, precalentador, caldero y secadores .....	104.80hp-hr
Total .....	825.18hp-hr

En resumen se tiene:

Sección N° 1 .....	207.40 hp-hr
Sección N° 2 .....	13.65 hp-hr
Sección N° 3 .....	825.18 hp-hr
Total .....	1,046.23 hp-hr/día de operación.

Cifra que equivale a 670,000 Kcal/día de operación.

o bien 790.00 Kw-hr/día de operación.

Labor empleada en el transporte de materiales:

SECCION N° 1.

Transporte de la antracita  
molidá a la mezcladora .....

2.80 hp-hr/día op.
--------------------

SECCION N° 2.

Transporte de la calcina a las  
 pozas de lixiviación o a la cancha  
 auxiliar de enfriamiento ..... 1.00 hp-hr/día op.

SECCION N° 3.

Carga y descarga de secadores ..... 1.50 hp-hr/día op.

Carga al molino "ring roller" ..... 1.00 hp-hr/día op.

Transporte de las bolsas de la  
 llenadora al almacén ..... 2.00 hp-hr/día op.

Total de labor empleada en  
 la fábrica en transporte de  
 materiales ..... 8.30 hp-hr/día op.

Esta cifra equivale a 5,300 Kcal/día

BALANCE GENERAL DE ENERGIA:

Tiempo unidad: 1 año de operación.

Temperatura base: 60°F. (15.5°C).

Entrada

Energía total suministrada  
 por procesos de combustión  
 (incluye el calentamiento  
 de los hornos y del caldero) ..... 10,400.00 millones  
 de Kcal. ....81.90%

Energía total liberada por  
 procesos de reacción exo-  
 térmica ..... 2,100.00 ,, ....16.40%

Energía mecánica total  
 suministrada por motores ..... 200.00 ,, .... 1.57%

Labor empleada en el  
 transporte de materiales ..... 1.59 ,, .... 0.13%

Total de entrada ..... 12,701.59 ,, ...100.00%

Salida

Calentamiento de hornos  
 y caldero ..... 3,200.00 millones  
 de Kcal. ....25.20%

Entalpía de humos de combustión ... 3,830.00 ,, ....30.00%

## Continuación del balance general de energía:

Entalpía requerida por procesos de reacción endotérmica y calcinación del litopón. ....	950.00 millones de Kcal. ....	7.50%
Calor utilizado en las operaciones de secado .....	1,360.00 ,,	10.80%
Energía mecánica útil (incluye transporte manual) .....	160.00 ,,	1.30%
Pérdidas por diferentes conceptos (excepto calor sensible en los humos expulsados al ambiente) .....	3,200.00 ,,	25.20%
Total de salida .....	12,700.00 ,,	100.00%

**RELACION DE EQUIPO INDUSTRIAL.**

## a) Relación detallada de equipo.

## SECCION N° 1.

## 1- Almacenamiento de materias primas (Op).

Silo para baritina:

Capacidad: 500 T.M.

Dimensiones.- altura: 4.00 m.

diámetro: 6.00 m.

Construcción.- Forma cilíndrica, paredes de concreto armado.

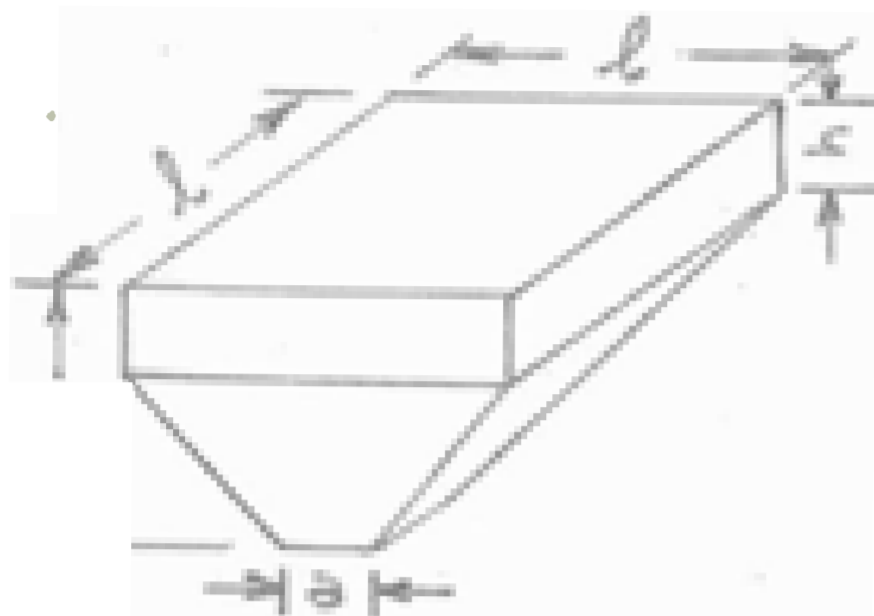
El silo será soportado por columnas de concreto armado a 2.00 m. sobre el nivel del piso. La carga del silo se realiza por medio de camiones desde un terraplén.

Descarga: sistema de alimentación mecánico de gusano Link-Belt de 6" con motor de 3 hp. El mecanismo de descarga poseerá un dispositivo de pesada automático.

Tolva para antracita:

Capacidad: 150 T.M.

Dimensiones:



$l = 5.00 \text{ m.}$

$h = 2.30 \text{ m.}$

$H = 4.30 \text{ m.}$

$a = 0.15 \text{ m.}$

Construcción.- Concreto armado, sostenida por pilotes a 1.70 m. sobre el nivel del piso.

Sistema de alimentación en la descarga tipo Ross (Ross Screen & Feeder Co) que consta de cadena de 6" con capacidad de alimentación de 1/4 ton/hr. El sistema es accionado por motor de 1/4 hp.

2- Molienda de la antracita (Op)

Chancadora de martillos Jeffrey tipo B de 20" x 12", con abertura de barras de 1/8". Motor de 10 hp.

Capacidad máxima: 2 ton. c./hr.

3- Pesada de la antracita (Op)

Báscula Toledo con cajón de pesada, para una capacidad de 3,000 libras.

4- Mezcla de baritina y antracita(Op):

Tambor de mezcla

Capacidad: 3,000 lbs., para operación discontinua.

Dimensiones.- Diámetro: 4.5'

Longitud: 4.5'

Velocidad: 4 rpm.

Potencia del motor: 10 hp.

5- Reducción de la baritina(Pr.).

Horno rotatorio de un sólo diámetro.

Dimensiones.- Diámetro interno: 5' 00"  
 Diámetro Externo: 6' 00" (nominal).  
 Longitud: 25' 00"  
 Pendiente: 3/8" por pié de longitud.

Forro refractario de blocks de alúmina neutra de 6" de espesor.

Chapa metálica del cilindro: acero de 1/2".

Cámara de combustión:

Diámetro interno: 7' 00"  
 Diámetro externo: 8' 06"  
 Longitud: 2' 06"

Refractario neutro de arcilla de 9" de espesor.

Cámara de precipitación de polvo de 350 ft<sup>3</sup> de volumen interior.

Rango de capacidad del horno a las condiciones de operación:

Cifra máxima: 12.20 ton. c./día.

Cifra mínima: 5.50 ton. c./día.

Quemadores Shutte & Koerting de baja presión y atomización por aire.

Ventilador para el aire de combustión: Sirocco N° 105 SISW de 1,200ft<sup>3</sup> de capacidad (60°F y 29"Hg), de 0.35 bhp.

Extractor para el tiro del horno: Sirocco N° 200 SISW de 6,000 ft<sup>3</sup> de capacidad (700°F y 29"Hg) y una potencia de 3.20 bhp.

Motor para mover el horno.- Se requiere una unidad Westinghouse de 15 hp, del tipo "jaula de ardilla", para C.A., 220 voltios, 60 ciclos, 3 φ.

Sistema de alimentación.- Transportador de gusano alimentado por

tolva de 10 toneladas cortas de capacidad máxima.

El transportador marca Link-Belt de 6" y 10' de longitud requiere un motor estinghouse de 5 hp. C.A., 220 voltios, 60 ciclos, 3  $\phi$ .

#### 6- Lixiviación (Pr).

Tanque de agitación:

Capacidad: 1,430 lts.

Dimensiones.- altura: 1.00 m.

diámetro: 1.40 m.

área base: 1.50 m<sup>2</sup>

Construcción: concreto.

Descarga: por gravedad.

Agitador de 4 paletas accionado por sistema de transmisión acoplado al motor de la batería de decantación.

#### 7- Decantación (Op).

Batería de dos tanques en contracorriente.

Capacidad total de la batería: 5,720 litros.

Dimensiones de cada tanque:

altura: 1.00 m.

diámetro: 1.90 m.

área base: 2.86 m<sup>2</sup>

Construcción.- Madera de pino en tablas de 6" de ancho y 1" de espesor con sunchos de acero de 1" de ancho y 1/16" de espesor.

Agitador de dos paletas en cada tanque. Los dos agitadores serán movidos por un motor de 1/2 hp.

Dos bombas centrífugas de impulsores abiertos y de succión simple con una capacidad de 30 gpm., trabajando con cargas totales equi-

valentes a 8 y 20 ft de agua. Potencia suministrada por una unidad de 1/2 hp.

#### 8- Almacenamiento de la lejía (Op).

Depósito de lejía:

Capacidad máxima: 34,000 litros.

Dimensiones.- altura: 2.50 m.

diámetro: 4.20 m.

área base: 13.60 m<sup>2</sup>

#### SECCION N° 2:

#### 1- Almacenamiento de materias primas (Op).

Silo para concentrados de blenda:

Capacidad: 250 T.M.

Dimensiones.- altura: 4.00 m.

diámetro: 4.50 m.

Construcción.- Paredes y pilares de concreto armado. Altura sobre el nivel del piso: 2.00 m.

Sistema mecánico de alimentación y pesada.

Tanque para ácido sulfúrico:

Capacidad: 200 T.M..

Forma geométrica: paralelepípedo rectángulo.

Dimensiones.- altura: 3.00 m.

ancho: 6.00 m.

longitud: 6.00 m.

Construcción.- Concreto, con recubrimiento de cemento antiácido de silicato sódico y capa de brea.

Alimentador.- Se utilizará un sistema de alimentación del tipo denominada "swinging spout" con una capacidad de alimentación de 2 U.S. gal/min.

## 2- Desulfuración de los concentrados de blenda (Pr).

Horno de reverbero de solera plana del tipo denominado "horno de tostación a mano".

Dimensiones.- longitud: 12.00 m.  
 ancho: 2.00 m.  
 altura de la solera: 1.40 m.  
 altura del techo: 2.40 m.

### Cámara de combustión:

longitud: 5.20 m.  
 ancho: 2.00 m.  
 altura: 1.00 m.

### Construcción.- Paredes:

Ladrillos refractarios ácidos (dinas) de 6".

Aislamiento (sil-o-cel) 2 1/2".

Ladrillos rojos de construcción 6"

Refuerzos estructurales a base de viguetas y dobles T de acero.

Número total de ventanas: 14.

### Techo:

Arcos de ladrillos de sílice reforzados con tirantes de acero en su parte externa.

Sistema de refrigeración.- Techo y paredes con agua; fondo de la solera con aire y agua.

Quemador de baja presión National Aeroil de 5 gal/hr, con ventilador Sirocco 60 H USS con motor de 1/6 hp, para el proceso.

Para el calentamiento se usarán dos quemadores Shutte & Koerting



de 40 gal/hr equipado cada uno con un Sirocco UPB tipo D , de 1.0 bhp.

Capacidad del horno.- Cifra máxima: 500 Kg por carga.

### 3- Lixiviación (Pr).

Número de pozas: 4

Dimensiones de cada poza:

altura: 1.60 m.

diámetro: 3.00 m.

área base: 7.10 m<sup>2</sup>

Construcción.- Concreto revestido con brea.

Motor para los agitadores de 1/2 hp.

Descarga por gravedad, mediante canal de trasiego.

### 4- Depuración (Pr).

Número de pozas: 3

Dimensiones de cada poza:

altura: 1.60 m.

diámetro: 3.00 m.

área base: 7.10 m<sup>2</sup>

Bomba de diafragma Dorco VM N° 3 con capacidad de 50 gpm.

y motor de 1 hp.

### 5- Filtración (Op).

Número de filtros: 2 en paralelo.

Filtros prensa Shriver de 18" x 18".

Capacidad: 3,000 gph.

Número de marcos: 60

Presión de trabajo: 25 psig.

### 6- Bombeo del filtrado al tanque de almacenamiento (Op).

1 Bomba Worthington, centrífuga de 30 gpm., trabajando con-

tra una carga total equivalente a 12 ft de agua.

Motor de 1/4 hp.

7- Almacenaje de la solución (Op).

Capacidad del depósito: 44,000 litros.

Dimensiones.- altura: 2.00 m.

ancho: 4.00 m.

longitud: 5.50 m.

área base: 22.00 m<sup>2</sup>.

SECCION N° 3.

1- Coprecipitación (Op y Pr).

Número de pozas: 2

Capacidad de cada cuba: 32,500 litros.

Volumen de cada cuba: 52.00 m<sup>3</sup>.

Dimensiones.- altura: 2.50 m.

diámetro: 5.20 m.

área base: 21.00 m<sup>2</sup>

Agitador.- L = 15 ft.

W = 3".

Motor de 1/6 hp para accionar los agitadores de las dos cubas.

Construcción.- Madera de pino en tablas de 6" x 1", con sunchos de acero de 1 1/2" x 1/16" y calafateado por brea.

Trasiego mediante una bomba de diafragma Dorrco VM N° 4, con capacidad para 9.60 ft<sup>3</sup>/min. Potencia 1 1/2 hp.

2- Decantación (Op).

Batería de tres tanques en contracorriente.

Capacidad total de la batería: 20,400 litros.

Dimensiones de cada tanque:

altura: 1.00 m.

diámetro: 3.00 m.

área base: 6.80 m<sup>2</sup>

Construcción.- Madera de pino con sunchos de acero y calafateado como ya se explicó anteriormente.

Bombas para el servicio de la batería.- 2 bombas de diafragma de 90 gpm. marca Dorrco tipo "O.D.S.". Potencia de cada motor 2 hp.

Bomba para la alimentación del filtro prensa: tipo reciprocante, para lodos, marca Wirthco, modelo IKE 2 3/4 x 3". Potencia actual: 2.3 bhp.

### 3.- Filtración y lavado (Op).

Batería de dos filtros prensa en paralelo.

Capacidad: 2,000 lts/hr.

Marca: Shriver; tipo: 24" x 24".

Número de marcos: 48

Presión de trabajo: 40 psig.

### 4- 1er. Secado (Op).

Secador de túnel.

Capacidad: 790 lb/hr de producto.

Agua evaporada: 387 lb/hr.

Medio secante: aire precalentado por vapor saturado a 280°F.

Dimensiones del secador:

Longitud: 11.00 m.

Ancho: 1.20 m.

Altura: 3.30 m.

Número de camiones de 3' x 6' de plataforma: 5

Número de bandejas de 3' x 3' por camión: 32

Construcción.- ladrillo rojo de 6" con forro interior

aislante de 1/2" (asbestos en plancha).

Pre calentador.- Banco de tubos de 3' de longitud y diámetro de 1" st. Fe, sch. # 40, separados entre sí 2 1/2", con un área total de 1,670 ft<sup>2</sup>. Trampa de vapor del tipo de flotador, de bronce, con capacidad de 530 lbs. de condensado/hr.

Ventilador N° 150 Sirocco, tipo DIDW con capacidad de 4,200 CFM (250°F y 29"Hg), presión estática de 2" de agua y potencia de 2.26 bhp.

5.- Trituración del "cake" (Op).

Trituradora Mikro-Pulverizer N° 2 S.P. con rotor de 12".

Rango de capacidad: 1,500 a 8,000 lb/hr. Potencia: 7 1/2 - 10 hp.

6- Calcinación del litopón (Op).

Horno rotatorio de mufla.

Dimensiones.- Casco del horno:

Diámetro interior: 3' 06"

Longitud: 7' 00"

Pendiente: 3/8 in/ft de longitud del horno.

Espesor del refractario (firebrick neutro): 06"

Chapa metálica (aleación especial): 3/8"

Mufla:

Diámetro interior: 1' 06"

Construcción.- Carborundum grado A, de 3" de espesor

(Fabricante: Norton Mfg. Co.)

Cámara de combustión: forma cúbica de 5 ft de arista.

Construcción: Firebrick: 09"

sil-o-cel: 04 1/2"

Ladrillo rojo: 04"

Capacidad máxima del diseño: 1,440 libras de litopón.

**Accesorios.**- Quemador Schutte & Koerting de 20 gal/hr., de baja presión y atomización por aire. Este quemador requiere un ventilador Sirocco N° 75, tipo SISW que suministra aire precalentado a 600°F. Capacidad del ventilador 880 CFM, presión estática 2" de agua; potencia: 0.55 bhp.

**Precalentador.**- Area de calentamiento: 136 ft<sup>2</sup>.

Construcción: 100 tubos de acero 1" st., sch. # 40 de 4' de longitud.

**Extractor para remover los gases de combustión.**- Industrial Fan con impulsor tipo AH de 13".

Capacidad: 1,000 CFM a 1000°F y 29" Hg barométrica.

Potencia: 0.54 bhp.

**Motor para mover el horno.**- tipo "jaula de ardilla" de 5 hp para C.A., 220 voltios, 60 ciclos, 3 φ; marca Westinghouse.

**Sistema de alimentación.**- Tolva con gusano Link-Belt de 6" y 5' de longitud. Potencia 3 hp.

7.- Temperado (Op).

Tanque de enfriamiento.- Dimensiones:

longitud: 3.00 m.

ancho: 1.00 m.

profundidad: 0.60 m.

8.- Molienda húmeda (Op).

Molino de tubo Allis-Chalmers con recubrimiento interior de sílex, y guijarros como medio de molienda.

Número: 510; dimensiones: 4.5' x 12'

Capacidad: 18 ton/24 hr.

Potencia requerida: 15 hp.

Clasificador Hardinge de 3' x 8' y pendiente de 1.25 in/ft.

Potencia: 2 hp.

Hidroseparator: tanque de madera con sunchos de acero.-Dimensiones:

altura: 2.00 m.

diámetro: 3.80 m.

Agitador de 4 brazos accionado por motor eléctrico de 1/4 hp.

#### 9.- 2a. Decantación (Op).

Batería de tres tanques en contracorriente.

Dimensiones de los tanques:

altura: 1.00 m.

diámetro: 1.50 m.

Construcción: madera de pino con sunchos de acero.

Motor para los agitadores de 1/2 hp.

Bombas de diafragma para el servicio de la batería.- 2 unidades Dorco VM N° 2. Potencia requerida por unidad: 1/2 hp.

Bomba para la alimentación a los filtros.- 1 unidad reciprocante para bombeo de lodos, marca Wirthco tipo LKE 2 3/4" x 3".

Capacidad máxima: 5.6 gpm.

Potencia neta: 2.3 bhp.

#### 10.- 2a. Filtración y lavado (Op).

El mismo equipo descrito en la primera filtración; o sea 2 filtros prensa Shriver de 24 x 24", 48 marcos y capacidad de 2000 litros por hora.

#### 11- 2° Secado (Op).

Secador de túnel en contracorriente con capacidad de evaporación de 270 libras de agua por hora.

## Dimensiones del secador:

longitud: 9.00 m.  
 ancho: 1.20 m.  
 altura: 2.50 m.

Dentro del túnel caben 4 camiones de 3' x 6' con dos columnas de 9 bandejas de 3' x 3' y 1" de profundidad.

La capacidad de cada bandeja es de 200 libras de material en base seca.

Accesorios.- Precalentador: banco de tubos de 3' de longitud y 1" st. acero sch. # 40, separados entre sí 2 1/2", y con un área total de calentamiento de 1,190 ft<sup>2</sup>.

Trampa de vapor del tipo de flotador, de bronce, con capacidad de 370 lb de condensado/hr.

Ventilador N° 122 Sirocco, tipo DLDW; presión estática 2" de agua; capacidad 3,000 CFM (250°F y 29"Hg). Potencia: 1.62 bhp.

Caldero Erie City de tubo de fuego, tipo económico con capacidad de 29 boiler hp y superficie de calentamiento de 240 ft<sup>2</sup> para suministrar vapor a 40.3 psig y 280°F; con todos sus accesorios, instrumentos de control Foxboro, quemador National Aeroil de 2.5 gal/hr y extractor Sirocco UPB tipo C para el tiro, con potencia de 0.70 bhp.

12- Molienda final en seco (Op).

Molino Raymond tipo "ring roller" de 5,000 lb/hr de capacidad. Potencia requerida: 25 hp-hr/ton.

13- Envasado (Op).

Llenadora de bolsas St. Regis N° 402 - P.S., con una capacidad de producción de 2 bolsas de 100 libras por minuto. Motor de 1/2 hp.

## b) Relación Global de equipo e instalaciones.

1- Almacenamiento:

- 1 silo para baritina de  $114 \text{ m}^3$  para 500 T.M.
- 1 silo para concentrados de blenda de  $63.5 \text{ m}^3$  para 250 T.M.
- 1 tolva para antracita de  $75 \text{ m}^3$  para 150 T.M.
- 2 tolvas de 10 T.M. para la alimentación de los hornos.
- 2 tolvas de 15 T.M. para la alimentación de los secadores.
- 1 tanque para 200 T.M. de ácido sulfúrico 66°Bé.
- 1 tanque de almacenamiento de lejía de BaS para 34,000 litros.
- 1 tanque de almacenamiento de solución de ZnSO para 44,000 lts.
- 1 tanque para petróleo industrial de 1,000 bbl de capacidad.
- 1 tanque colector de residuos de  $210 \text{ m}^3$  de capacidad.
- 1 tanque de abastecimiento de agua de  $100 \text{ m}^3$ .
- 1 cancha auxiliar de enfriamiento de  $40 \text{ m}^2$ , para calcina.
- 1 almacén de productos terminados de  $50 \text{ m}^2$ .

2- Hornos:

- 1 horno rotatorio para producción de sulfuro de bario.
- 1 horno de reverbero de solera plana para la desulfuración de los concentrados de blenda.
- 1 horno de mufla rotario para la calcinación del litopón.

3- Reactores:

- 1 tanque lixiviador de 1,430 lts, para el BaS.
- 4 pozas de 11,400 lts para la lixiviación del ZnO.
- 3 pozas de 11,400 lts para la depuración de la solución de  $\text{ZnSO}_4$
- 2 cubas de 32,500 lts para la precipitación del litopón.
- 1 tanque de 900 lts. para el temperado del litopón.

4- Decantadores:



1 Bateria de 2 tanques en contracorriente con capacidad global de 5,720 litros.

2 Baterías de 3 tanques en contracorriente con capacidades de 20,400 y 5,400 litros, respectivamente.

5- Filtros:

2 Filtros prensa Shriver de 18" x 18" y 60 marcos.

4 Filtros prensa Shriver de 24" x 24" y 48 marcos.

6- Secadores:

1 Secador de túnel en contracorriente, de 11.00 m. con capacidad de evaporación de 387 lb de agua/hr.

1 Secador de túnel en contracorriente, de 9.00 m. con capacidad de evaporación de 270 lb de agua/hr.

7- Equipo para reducción de tamaño:

1 Chancadora de martillos Jeffrey tipo B, para antracita.

1 Trituradora de "cakes" Mikro-Pulverizer N° 2 SP.

1 Circuito de molienda húmeda que comprende un molino de tubo Allis-Chalmers, un clasificador Hardinge y un hidroseparador.

1 Molino Raymond tipo "ring roller".

8- Equipo auxiliar

1 Caldero Erie City de tubo de fuego de 29 boiler hp.

1 Precalentador de 136 ft<sup>2</sup> de superficie de calentamiento, para el horno de mufla.

1 Mezcladora de tambor para 3,000 libras.

1 Báscula Toledo con cajón de pesada para 3,000 libras de material.

1 Máquina llenadora St. Regis.

Motores:

1 Unidad de 25 hp.; 2 de 15 hp.; 3 de 10 hp.; 2 de 5 hp.; 1 de 3 hp.;

3 unidades de 2 hp.; 1 unidad de 1 1/2 hp.; 1 unidad de 1 hp.; 7 unidades de 1/2 hp.; 1 unidad de 1/4 hp.; 1 unidad de 1/6 hp.

- Bombas:

3 centrífugas Worthington de 30 gpm.

1 centrífuga Worthington de 120 gpm.

1 centrífuga Worthington de 180 gpm., con "strainer" colocado antes de la entrada a la bomba. Esta bomba alimentará combustible a los quemadores.

1 bomba de diafragma Dorco VM N° 3 para 50 gpm.

1 bomba de diafragma Dorco VM N° 4 para 70 gpm.

2 bombas de diafragma Dorco "O.D.S." para 90 gpm.

3 bombas de diafragma Dorco VM N° 2 para 15 gpm.

2 Bombas de lodos Wirthco IKE 2 3/4 x 3", de 5.6 gpm.

1 bomba reciprocante Axelson Hydrax 4-foot Jr, para el pozo.

- Ventiladores:

1 Sirocco N° 75 SISW de 620 CFM y 2251 rpm.

1 Sirocco N° 105 SISW de 1200 CFM y 1046 rpm.

1 Sirocco N° 200 SISW de 4000 CFM y 687 rpm.

1 Sirocco N° 122 DIDW de 2580 CFM y 1167 rpm.

1 Sirocco N° 150 DIDW de 3620 CFM y 951 rpm.

1 Sirocco N° 60H USS de 257 CFM y 1725 rpm.

1 Sirocco UPB tipo C de 507 CFM y 3450 rpm.

2 Sirocco UPB tipo D de 936 CFM y 3450 rpm.

1 Industrial Fan, impulsor AH de 13" de 1000 CFM y 849 rpm.

Nota.- Las capacidades y velocidades son especificadas para 70°F y 29.92" de Hg, al nivel del mar.

- Transportadores de gusano:

2 gusanos Link-Belt de 6" y 5' de longitud.

1 gusano Link-Belt de 6" y 10' de longitud.

- Quemadores:

2 Schutte & Koerting de 40 gal/hr.

3 Schutte & Koerting de 20 gal/hr.

1 National Aeroil de 5 gal/hr.

1 National Aeroil de 2.5 gal/hr.

- Equipo para acarreo de materiales:

12 carretillas de mano de 1/8 yd<sup>3</sup>.

20 camiones de plataforma de 3' x 6', sobre vías Decauville de 0.80 m., para los secadores.

**CUADRO DE DISTRIBUCION DE TIEMPO.- Consideraciones:**

**SECCION N° 1.-** El trabajo en esta sección queda circunscrito a una guardia de 8 horas diarias durante todos los días útiles del año, excepción hecha de los domingos y feriados no laborables. Prácticamente se puede asumir en 300 el número de días laborables.

**SECCION N° 2.-** En esta sección el horno de reverbero trabajará en forma continua. Los obreros operadores trabajarán en 3 guardias de 8 horas diarias. El tiempo de trabajo neto se ha fijado en 300 días por año, dejando 60 días para reparaciones. Se asume que se harán dos reparaciones al año.

El enfriamiento de la calcina se realizará en forma paralela al trabajo del horno. La calcina se extenderá en las pozas de lixiviación que no estén en servicio, en la forma que ya se explicó anteriormente. Esto se hará sólo en los días útiles. En los días feriados la calcina irá a una cancha de enfriamiento de 5 x 8 m. de

la que se sacará, para alimentar las pozas de lixiviación, cuando el horno esté en reparación.

La lixiviación se efectuará sólo los días útiles en una guardia de ocho horas diarias, en forma intermitente, en cuatro pozas. Otro tanto ocurrirá con la depuración de la solución de sulfato, filtración, lavado y almacenaje.

SECCION N° 3.- Sólo las operaciones de secado y molienda en húmedo se realizarán en forma continua. El proceso de coprecipitación y las demás operaciones de acabado se realizarán dentro de una guardia de ocho horas diarias.

GRAFICO N° 1.- Distribución de tiempo en condiciones de operación normal para la sección N° 1.

Horas	Molienda y pesada	Mezcla	Reducción	Lixiviación	Decantación y almacenaje
-------	-------------------	--------	-----------	-------------	--------------------------

0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8

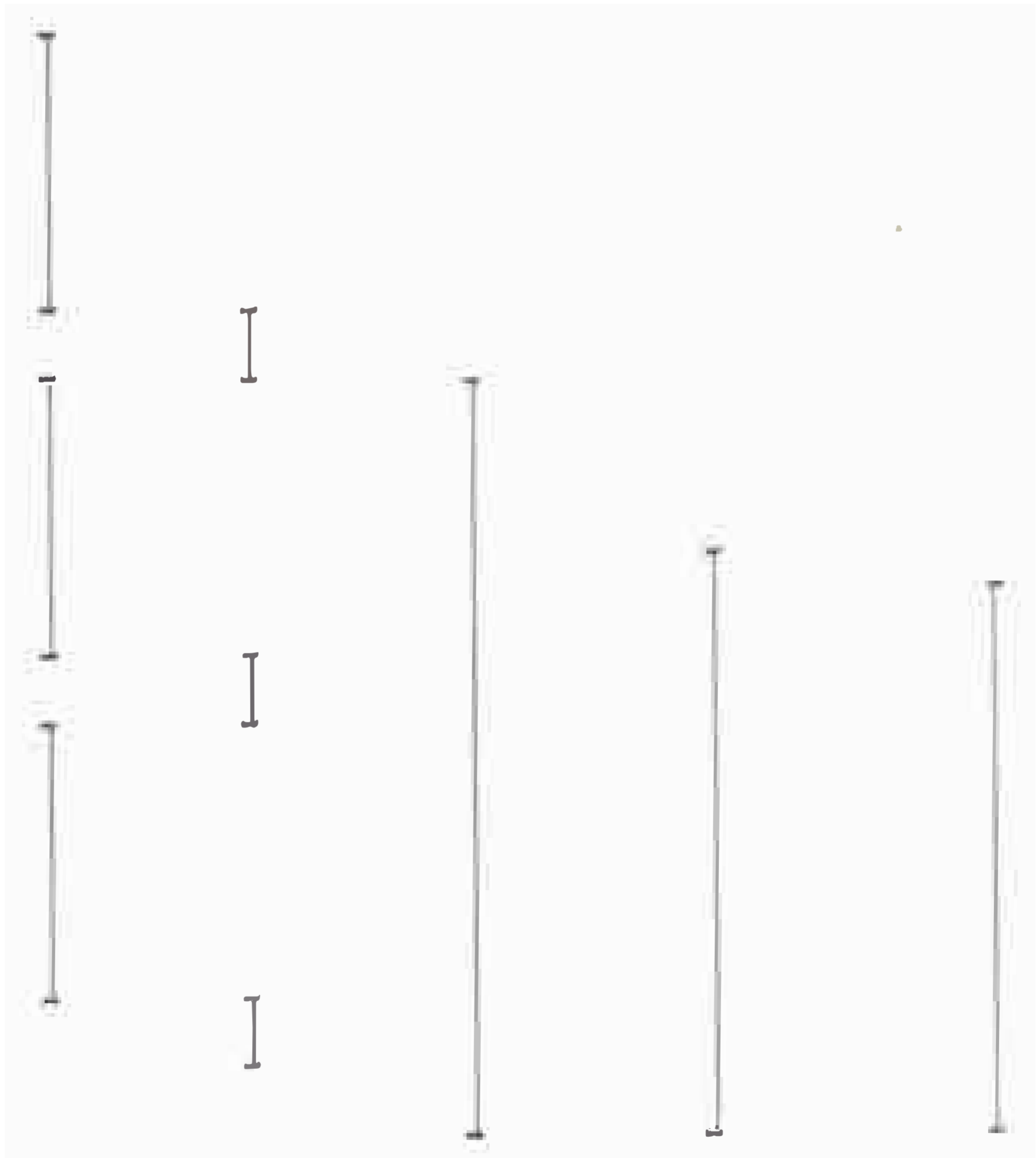
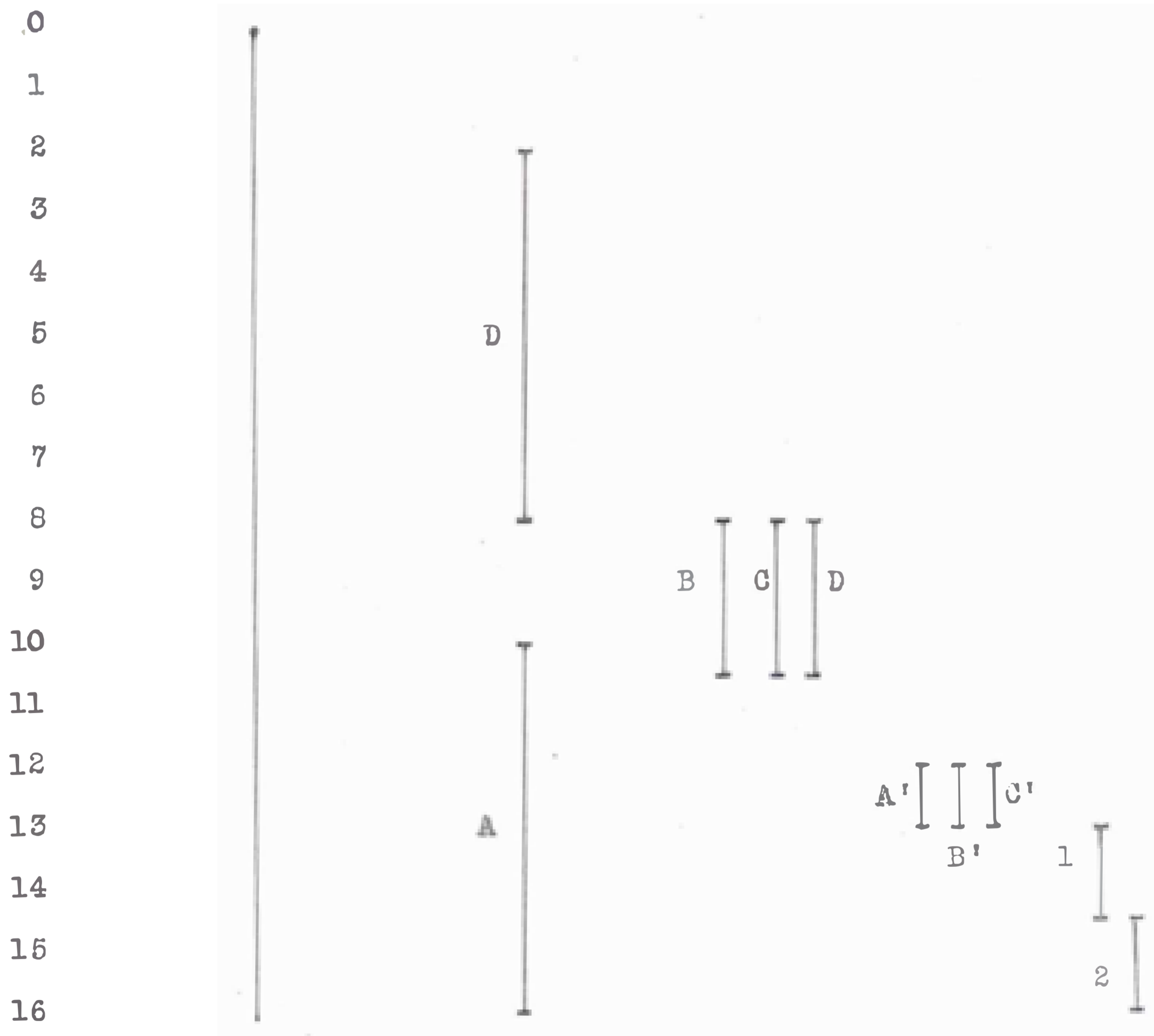


GRAFICO N° 2.- Distribución de tiempo para la sección N° 2, después de 67 horas de haber prendido el horno de desulfuración (24 horas de operación del horno en proceso).

Horas	Desulfuración	Enfriamiento	lixiviación	Depuración.	Filtración y lavado.
-------	---------------	--------------	-------------	-------------	----------------------



**GRAFICO N° 3.- Distribución del tiempo en la sección N° 3.**

Proceso de coprecipitación y operaciones de decantación, filtración, secado y trituración del "cake" de litopón bruto.

Horas      Precipitación      Decantación      Filtración      Secado      Trituración

32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64

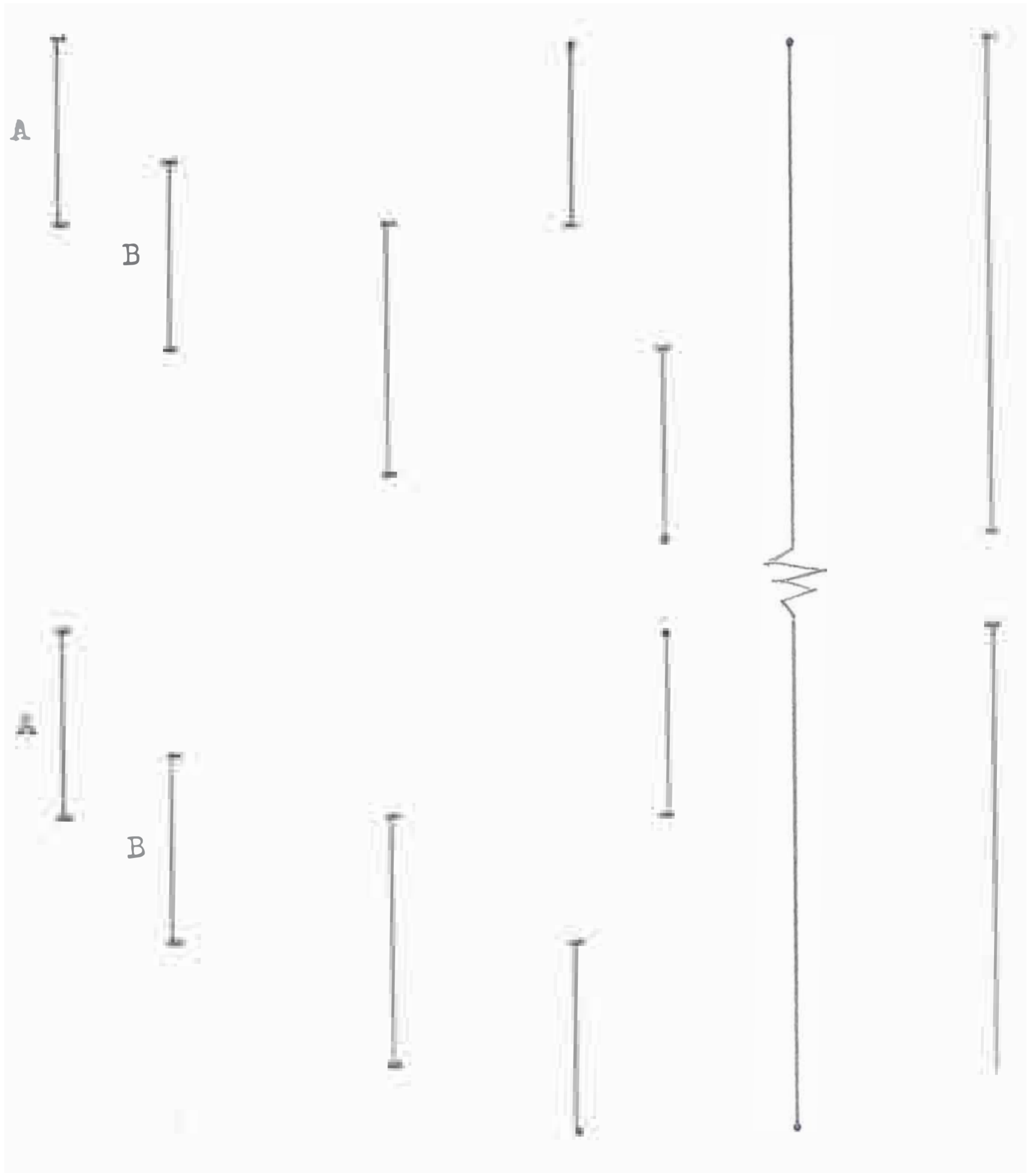
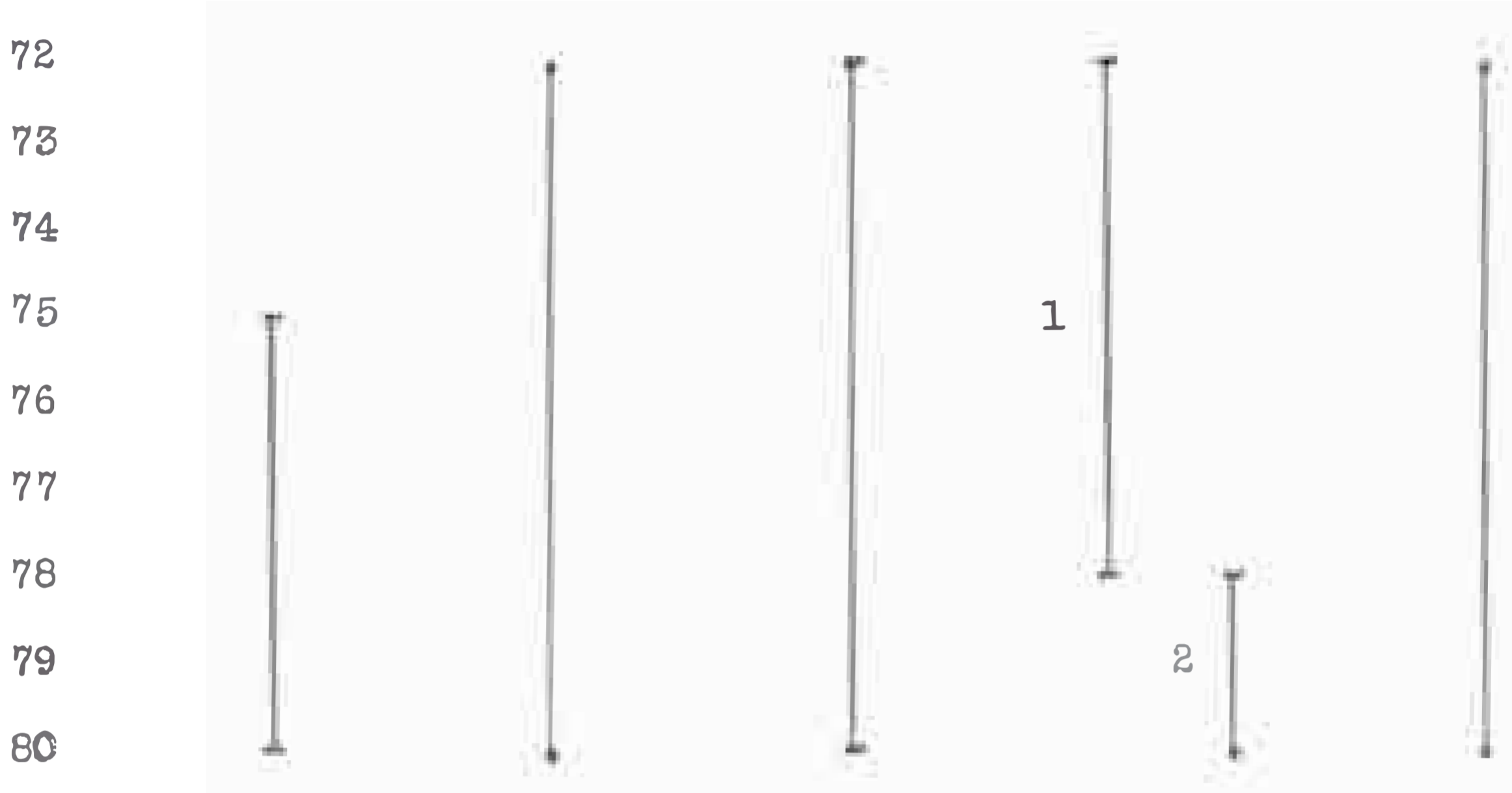
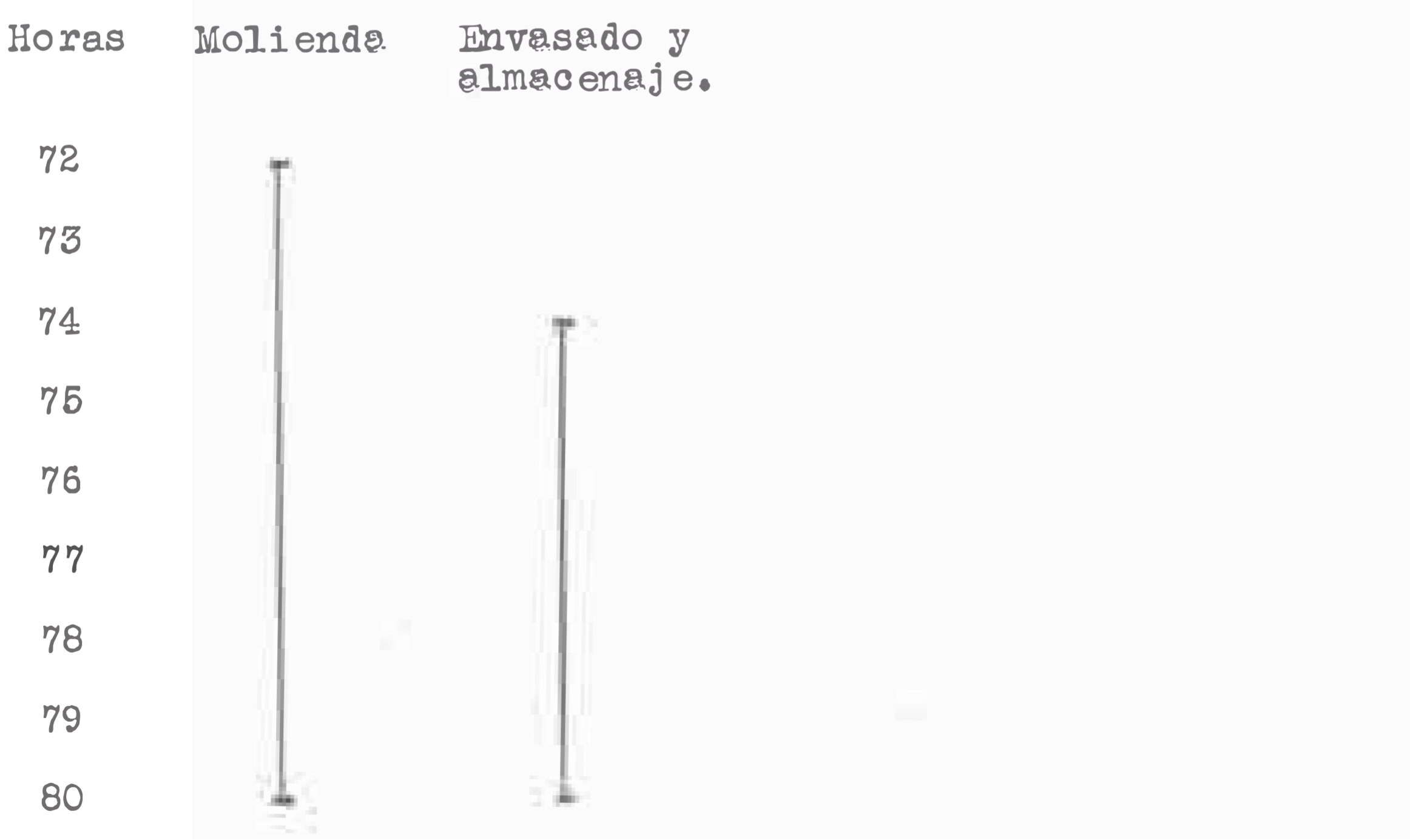


GRAFICO N° 4.- Distribución del tiempo en la sección N° 3 (Continuación).

Horas Calcinación y temperado Molienda húmeda. Decantación Filtración y lavado. 2° Secado.



Continuación: operaciones de molienda en seco, envasado y almacenaje.





## CUADRO DE DISTRIBUCION DE LA MANO DE OBRA.

## SECCION N° 1:

Molienda y mezcla .....	8.0	homb-hr.
Acarreo y pesada .....	8.0	homb-hr.
Reducción y lixiviación .....	8.0	homb-hr.
Decantación y almacenamiento .....	1.0	homb-hr.
Total.....	25.0	homb-hr.

## SECCION N° 2:

Desulfuración y acarreo de la calcina .....	48.0	homb-hr.
Lixiviación y depuración .....	3.5	homb-hr.
Limpieza de las pozas .....	3.0	homb-hr.
Filtración .....	4.0	homb-hr.
Total .....	58.5	homb-hr.

## SECCION N° 3:

Coprecipitación .....	5.0	homb-hr.
1a. Decantación .....	1.5	homb-hr.
1a. Filtración y lavado .....	6.0	homb-hr.
1er. Secado .....	8.0	homb-hr.
Trituración del "cake" de secado .....	8.0	homb-hr.
Calcinación y temperado .....	8.0	homb-hr.
Molienda húmeda .....	8.0	homb-hr.
2a. Decantación .....	2.0	homb-hr.
2a. Filtración y lavado .....	6.0	homb-hr.
2° Secado .....	8.0	homb-hr.
Molienda en seco .....	8.0	homb-hr.
Envasado y almacenaje .....	8.0	homb-hr.
Transporte .....	16.0	homb-hr.

Continuación del cuadro de distribución de mano de obra:

Total ..... 92.5 homb-hr.

En resumen se tiene:

Sección N° 1 ..... 25.0 homb-hr.

Sección N° 2 ..... 58.5 homb-hr.

Sección N° 3 ..... 92.5 homb-hr.

Total ..... 176.0 homb-hr.

Total de obreros requeridos:  $176.0/8.0 = 22$  obreros.

Además se necesitan 3 capataces generales, uno para cada guardia de trabajo.

DISTRIBUCION DE EQUIPO E INSTALACIONES.- Cálculo del espacio requerido.

a) Almacenamiento de materias primas, auxiliares, y productos en proceso y acabados.

Silo de baritina ..... 36.00 m<sup>2</sup>

Silo de concentrados de blenda ..... 20.00 m<sup>2</sup>

Tolva de antracita ..... 25.00 m<sup>2</sup>

Tanque de ácido ..... 36.00 m<sup>2</sup>

Tanque de lejía de BaS ..... 17.00 m<sup>2</sup>

Tanque de solución de sulfato de zinc ..... 28.00 m<sup>2</sup>

Tanque de petróleo ..... 40.00 m<sup>2</sup>

Tanque de almacenamiento auxiliar en el circuito de molienda húmeda ..... 20.00 m<sup>2</sup>

Tanque colector de residuos ..... 70.00 m<sup>2</sup>

Tanque de abastecimiento de agua ..... 25.00 m<sup>2</sup>

Cancha de enfriamiento para la calcina ..... 40.00 m<sup>2</sup>

Almacén de productos terminados .....	50.00 m <sup>2</sup>
Almacén de materias primas secundarias y otros .....	40.00 m <sup>2</sup>

## b) Hornos.

Horno rotatorio con espacio adicional para mecanismo e instalaciones de alimentación, cámara de combustión, cámara de precipitación de finos arrastrados por el tiro; accesorios, etc.; y también espacio para el operador y posibles reparaciones .....	66.00 m <sup>2</sup>
--	----------------------

Horno de reverbero y accesorios con espacio adicional para los operadores y para las reparaciones periódicas .....	95.00 m <sup>2</sup>
--	----------------------

Horno rotatorio de mufla con espacio adicional para mecanismo de alimentación, motor, accesorios, etc; y también espacio para el operador y reparaciones .....	30.00 m <sup>2</sup>
--	----------------------

## c) Reactores.

Tanque lixiviador para el sulfuro de bario, con espacio adicional .....	4.00 m <sup>2</sup>
---	---------------------

Pozas de lixiviación para calcina, con espacio para accesorios, y para el operador .....	144.00 m <sup>2</sup>
--	-----------------------

Espacio total requerido por las pozas de depuración de la solución de sulfato de zinc .....	100.00 m <sup>2</sup>
---	-----------------------

Tanques de precipitación .....	53.00 m <sup>2</sup>
--------------------------------	----------------------

## d) Decantadores.

Batería de dos tanques en contracorriente empleada en la preparación de la solución de sulfato de zinc .....	26.00 m <sup>2</sup>
--	----------------------

Batería de tres tanques para la primera decantación del litopón .....	87.00 m <sup>2</sup>
---	----------------------

Batería de tres tanques para la segunda decantación del litopón .....	40.00 m <sup>2</sup>
---	----------------------

e) Filtros prensa (Se considera también espacio para desmontar

los marcos).

2 Shriver de 18" x 18" y 60 marcos .....	20.00 m <sup>2</sup>
4 Shriver de 24" x 24" y 48 marcos .....	48.00 m <sup>2</sup>

f) Secadores.

Túnel para el primer secado consi- derando espacio para accesorios; carga y descarga; y para regresar los camiones .....	56.00 m <sup>2</sup>
---	----------------------

Túnel para el segundo secado, con las mismas consideraciones .....	47.00 m <sup>2</sup>
---	----------------------

g) Equipo para la reducción de tamaño.

Chancadora Jeffrey .....	4.00 m <sup>2</sup>
--------------------------	---------------------

Trituradora de "cakes" .....	4.00 m <sup>2</sup>
------------------------------	---------------------

Molino "ring roller" .....	5.00 m <sup>2</sup>
----------------------------	---------------------

Molino de tubo .....	14.00 m <sup>2</sup>
----------------------	----------------------

Clasificador Hardinge .....	11.00 m <sup>2</sup>
-----------------------------	----------------------

Hidroseparador .....	25.00 m <sup>2</sup>
----------------------	----------------------

h) Equipo auxiliar.

Caldero y accesorios .....	10.00 m <sup>2</sup>
----------------------------	----------------------

Báscula .....	4.00 m <sup>2</sup>
---------------	---------------------

Mezcladora de tambor .....	6.00 m <sup>2</sup>
----------------------------	---------------------

Máquina llenadora de bolsas .....	5.00 m <sup>2</sup>
-----------------------------------	---------------------

i) Bombas, motores, ventiladores, etc: incluido en las cifras precedentes.

j) Instalación de seguridad contra incendios.

Caseta para un extinguidor de espuma Foamite de 50 galones .....	4.00 m <sup>2</sup>
---	---------------------

2 Hidrantes .....	4.00 m <sup>2</sup>
-------------------	---------------------

k) Instalaciones de control y mantenimiento.

Laboratorio para ensayos físicos y químicos .....	36.00 m <sup>2</sup>
---	----------------------

Taller de mecánica .....	20.00 m <sup>2</sup>
Total de equipos e instalaciones .....	1,415.00 m <sup>2</sup>
Espacio para circulación y futuras ampliaciones .....	400.00 m <sup>2</sup>
Terraplén para alimentación de los silos por medio de camiones. ....	240.00 m <sup>2</sup>
2 Oficinas con su baño .....	40.00 m <sup>2</sup>
Servicios higiénicos para los obreros .....	15.00 m <sup>2</sup>
Guardiana .....	16.00 m <sup>2</sup>
Area total de la fábrica .....	2,126.00 m <sup>2</sup>

Determinación del área de terreno requerida.- Para este cálculo se tendrá en cuenta lo siguiente:

a) El tanque de petróleo y el colector de residuos líquidos serán subterráneos.

b) Los filtros prensa, los tanques para la lejía y para la solución de sulfato de zinc y el tanque de abastecimiento de agua estarán ubicados en la 2<sup>a</sup>. planta y en la azotea de un edificio de estructura de concreto armado.

Con esta disposición se tiene una economía de 248.00 m<sup>2</sup>, y el terreno requerido tendrá un área de:

$$2,126.00 - 248.00 = 1,878.00 \text{ m}^2$$

Por tanto se puede considerar esta superficie en un terreno de:

$$40.00 \times 47.00 \text{ m.}$$

#### CALCULOS DE CONSTRUCCION GENERAL.

a) Volumen total de excavaciones.

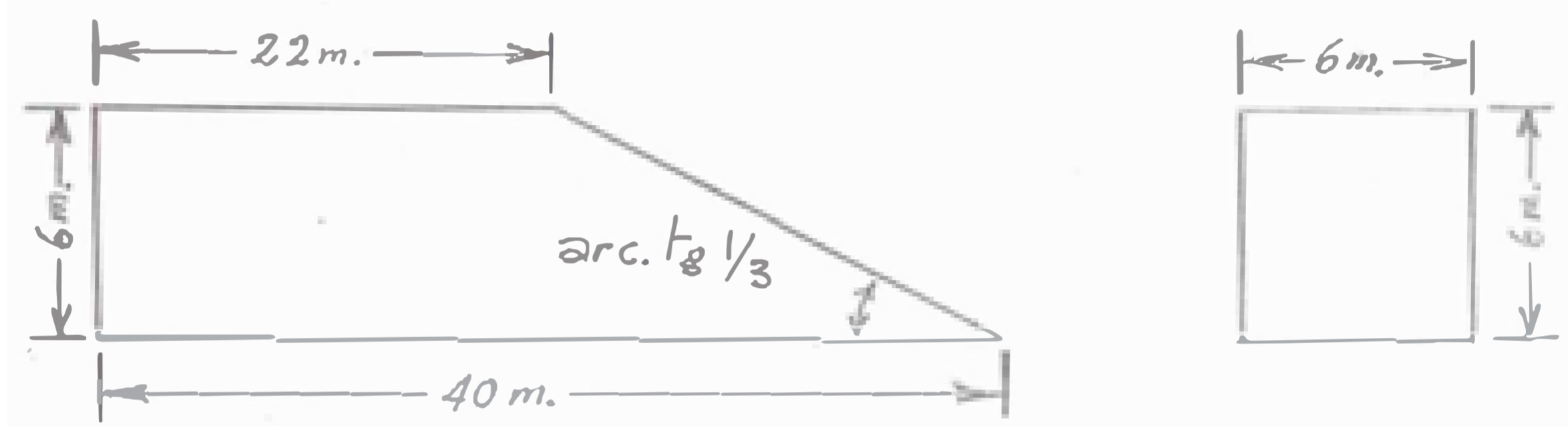
4 pozas de lixiviación .....

45.60 m <sup>3</sup>
----------------------

3 pozas de depuración .....	34.20 m <sup>3</sup>
2 pozas de precipitación .....	104.00 m <sup>3</sup>
Tanque para petróleo .....	198.00 m <sup>3</sup>
Tanque colector de residuos .....	280.00 m <sup>3</sup>
Tanque de temperado .....	0.90 m <sup>3</sup>
Excavación para cimientos, canal colector, red de desagüe, etc. ....	200.00 m <sup>3</sup>
<b>Total .....</b>	<b>862.70 m<sup>3</sup></b>

b) Volumen total de relleno para el terraplén.

Esquema del terraplén:



$$\text{Volumen: } 6 \times 6 \times 22 + 3 \times 6 \times 18 = 1,114.00 \text{ m}^3$$

Cantidad de tierra que se necesita traer:

$$(1,114.00 - 862.70) \cdot 0.7 = 359.00 \text{ m}^3$$

c) Edificio industrial.- Ocupará un área de 100 m<sup>2</sup> con dimensiones de 10 x 10 m., constará de dos plantas con una altura total de 6 m., y estará soportado por nueve columnas de 0.5 x 0.5 m., dispuestas en hileras de a 3. Cada techo descansará sobre 3 vigas doble T de acero (0.8% C), de 18 x 6 in., con un área de sección de 15.94 in<sup>2</sup>, y con una longitud de 31'; y 6 vigas doble T de acero de 18 x 6 in y 15' de longitud.

Cálculo de los cimientos:

Peso del equipo en las condiciones de operación ... 208.00 T.M.

Peso total de la estructura ..... 144.00 T.M.  
 Peso total a soportar por los cimientos ..... 352.00 T.M.

Factor de seguridad: 2.5

Area total de las zapatas:  $2.5 \times 352/40 = 22.00 \text{ m}^2$

Area de cada zapata:  $22/9 = 2.50 \text{ m}^2$

Dimensiones de cada zapata: 1.60 x 1.60 m.

d) Volumen total de concreto para basamentos de equipo.

Horno rotatorio .....	6.00 m <sup>3</sup>
Horno rotatorio de mufla .....	4.00 m <sup>3</sup>
Bombas .....	3.00 m <sup>3</sup>
Motores .....	12.00 m <sup>3</sup>
Mezcladora .....	2.00 m <sup>3</sup>
Molinos y trituradoras .....	40.00 m <sup>3</sup>
Total .....	66.00 m <sup>3</sup>

## CAPITULO VI

### ASPECTO TECNICO ECONOMICO

SUMARIO.- Costos de terreno y edificación. Costos de maquinaria e instalación. Capital de trabajo. Valor total de la producción anual. Costo total de operación. Utilidades. Retorno a la inversión.



## a) Costos de terreno y edificación.

Terreno: 1,878 m<sup>2</sup> a S/. 100 el m<sup>2</sup> ..... 187,800 soles

Costos de las obras de excavación,

afirmado y construcción general:

Volumen total de excavaciones:

862.70 m<sup>3</sup> a S/. 9.00 el m<sup>3</sup> ..... 7,750 soles

Acarreo de tierra:

500 T.M. a S/. 170 la T.M. ..... 85,000 soles

Relleno total para el terraplén  
y afirmado:

1,114 m<sup>3</sup> a S/. 9.50 el m<sup>3</sup> ..... 10,550 soles

Edificio industrial de dos plan-  
tas, estructura de concreto ar-  
mado con vigas de acero con per-  
fil doble T de 18 x 6 in., sin  
paredes; escaleras y barandas  
de hierro. .... (100 m<sup>2</sup> x 300) ...

30,000 soles

Oficinas, en edificación de una  
planta, construcción noble:

40 m<sup>2</sup> a S/. 500 el m<sup>2</sup> ..... 20,000 soles

Laboratorio, sobre un área de  
36 m<sup>2</sup> a razón de S/. 400 el m<sup>2</sup> .....

14,400 soles

Taller de mecánica:

20 m<sup>2</sup> a S/. 300 el m<sup>2</sup> ..... 6,000 soles

Almacenes: 90 x 300 ..... 27,000 soles

Guardiana: 16 x 300 ..... 4,800 soles

Servicios higiénicos para  
los obreros: 15 x 350 .....

5,250 soles

Instalaciones de seguridad  
contra incendios que compren-  
den una caseta para el extin-  
guidor, 2 hidrantes y duchas .....

10,000 soles

Muro de ladrillos de 3.00 m. de altura con sobrecimientos de 0.40 m, que circunda el perímetro de la fábrica. ....	5,500 soles
Total edificación .....	226,250 soles
Total terreno y edificación .....	413,650 soles
b) Costo de equipo y maquinaria:	
Silo de baritina con todos sus accesorios .....	228,000 soles
Silo para concentrados .....	125,000 soles
Tolva para antracita .....	135,000 soles
Tanque para ácido sulfúrico .....	108,000 soles
Tanque para almacenamiento de la lejía de sulfuro de bario .....	10,000 soles
Tanque para almacenamiento de la solución de sulfato de zinc .....	15,000 soles
Tanque de petróleo .....	100,000 soles
Tanque de almacenamiento auxiliar en el circuito de molienda .....	12,000 soles
Tanque colector de residuos .....	35,000 soles
Tanque de abastecimiento de agua .....	12,500 soles
Pozo y equipo de bombeo .....	10,000 soles
Suma parcial de equipo de alma- cenamiento y abastecimiento .....	790,500 soles
Horno rotatorio para la reduc- ción de la baritina, con todos sus accesorios: cámara de com- bustión, cámara de precipitación de finos, sistema de alimenta- ción, motores de 5 y 15 hp, extractor, ventiladores, quema- dores, instrumentos de control, etc. ....	360,000 soles
Horno de reverbero para la de- sulfuración de los concentra- dos de blenda, con sistema de refrigeración de su estructura por aire y agua, sistema de a-	

alimentación consistente en tolva y transportador de gusano accionado por motor eléctrico de 3 hp; torre de absorción de SO <sub>2</sub> ; quemadores, pirómetro; rastillos etc. ....	110,000 soles
Horno rotatorio de mufla para la calcinación del litopón, con su equipo auxiliar completo .....	480,000 soles
Total hornos .....	950,000 soles
Tanque lixiviador para el sulfuro de bario, con sus accesorios de agitación .....	2,000 soles
Pozas de lixiviación para tratar la calcina, y equipo de agitación .....	65,000 soles
Pozas de depuración con sus agitadores y bomba de diafragma .....	45,000 soles
Tanques para la precipitación del litopón y equipo auxiliar .....	38,000 soles
Total reactores .....	150,000 soles
Batería de dos tanques decantadores en contracorriente para separar residuos sólidos de la solución de BaS, con sistema de agitación y bomba centrífuga .....	25,000 soles
Batería de tres tanques decantadores en contracorriente para la separación del pigmento de las aguas madres. Agitadores con su motor eléctrico y 2 bombas de diafragma y una de lodos .....	85,000 soles
Batería de tres tanques decantadores empleada en la decantación final del pigmento; y equipo auxiliar similar al descrito .....	48,500 soles

Total decantadores .....	158,500 soles
2 Filtros prensa Shriver de 18" x 18" y 60 marcos .....	50,000 soles
4 Filtros prensa Shriver de 24" x 24" y 48 marcos .....	140,000 soles
Total filtros .....	190,000 soles
Secador de túnel para el primer secado del pigmento con precalentador de banco de tubos, que emplea vapor saturado como medio de ca- lentamiento. Ventilador de doble entrada e impulsor de doble ancho. Camiones de 3' x 6' de plataforma con 32 bandejas de aluminio de 3' x 3' y 1", cada uno. Vía Decauville de 0.80 m. de ancho y otros accesorios .....	240,000 soles
Secador de túnel para el pigmento acabado. La misma construcción: ladrillo rojo y forro aislante de asbestos; y los mismos accesorios; pero diferentes dimensiones .....	185,000 soles
Total secadores .....	425,000 soles
Chancadora Jeffrey B para moler antracita .....	18,000 soles
Trituradora para los "cakes" del primer secado .....	23,000 soles
Molino Raymond "ring roller" .....	425,000 soles
Molino de tubo Allis-Chalmers con forro interior de sílex y guijarros como medio de molien- da, para molienda en vía húmeda .....	267,500 soles
Clasificador Hardinge con sus accesorios .....	22,800 soles
Tanque hidroseparador de ma- dera de pino y sunchos de a- cero, con sus agitadores y motor eléctrico .....	17,000 soles

Total de equipo para la reducción  
de tamaño ..... 773,300 soles

Caldero Erie City de tubo de  
fuego, de 29 boiler hp, con  
instrumentos de alimentación  
y control automáticos; ablan-  
dador de zeolita sódica; ven-  
tiladores; quemador, etc. .... 220,000 soles

Báscula Toledo ..... 8,500 soles

Mezcladora de tambor ..... 26,000 soles

Máquina llenadora de bolsas ..... 24,000 soles

Carretillas de mano ..... 8,000 soles

Total equipo auxiliar ..... 286,500 soles

Total de equipo y maquinaria ..... 3,723,800 soles

Costo de instalación (10%  
del costo de equipo y maquinaria)..... 372,380 soles

Costo total de equipo e instalación ..... 4,096,180 soles

c) Capital de trabajo.- Tiempo unidad: 3 meses de trabajo de  
la fábrica.

#### 1- Presupuesto de sueldos y jornales.

Planilla de personal técnico, empleados y subalternos a sueldo  
mensual:

1 Gerente .....S/. 6,000.00 al mes ..... S/. 18,000.00

1 Ingeniero  
Químico .....S/. 5,000.00 al mes ..... S/. 15,000.00

1 Químico  
Laboratorista S/. 3,000.00 al mes ..... S/. 9,000.00

1 Contador S/. 4,000.00 al mes ..... S/. 12,000.00

2 Oficinistas S/. 2,000.00 al mes ..... S/. 12,000.00

1 Auxiliar  
Laboratorista S/. 1,800.00 al mes ..... S/. 5,400.00

1 Guardián S/. 1,500.00 al mes ..... S/. 4,500.00

1 portero .....S/. 1,200.00 al mes ..... S/. 3,600.00

Totales .....S/.26,500.00 al mes ..... S/.79,500.00

Planilla de obreros:

3 Capataces .....S/. 40.00 diarios ..... S/.10,800.00

1 Maestro  
mecánico .....S/. 40.00 diarios ..... S/. 3,600.00

1 Auxiliar  
de taller .....S/. 30.00 diarios ..... S/. 2,700.00

22 Obreros .....S/. 30.00 diarios ..... S/.59,400.00

Totales .....S/.850.00 diarios ..... S/.76,500.00

Materias primas y auxiliares:

Baritina:..... 630 T.M. a 260 soles/T.M. ...\$. 164,000.00

Antracita:..... 157.5TM. a 326 soles/T.M.....\$. 51,500.00

Concentrados:... 300 T.M. a 450 soles/T.M.....\$. 135,000.00

Acido  
sulfúrico:..... 285 T.M. a 1700 soles/TM.....\$. 485,000.00

Cloruro de  
sodio:..... 18.5 TM. a 370 soles/T.M.....\$. 6,850.00

Cal magra:..... 13 T.M. a 600 soles/T.M.....\$. 7,800.00

Sulfuro de  
sodio:..... 16 T.M. a 3900 soles/T.M.....\$. 61,500.00

Polvo de zinc: 675 Kg. a 10 soles/Kg.....\$. 6,750.00

Cloruro de  
calcio:..... 730 Kg. a 6 soles/Kg.....\$. 4,380.00

Azul de  
ultramar:..... 16.5 Kg. a 6.20 soles/Kg.....\$. 102.00

Fuel oil 5:..... 90,000 gal. a 1.20 gal.....\$. 108,000.00

Energía  
Eléctrica:..... 71,000 Kw-hr a 0.22 el Kw-hr.\$ 15,600.00

Total materias primas y auxiliares:.....S/. 1,046,482.00

## Presupuesto de gastos fijos:

Mantenimiento y reparaciones (20% del costo del equipo en un año, 5% en el caso actual) .....	200,000 soles.
Depreciación de maquinaria (10% anual del costo) .....	100,000 soles.
Depreciación del edificio (2% anual, en promedio) .....	4,525 soles.
Fondo de reposición de equipo industrial (7% anual) .....	80,000 soles.
Seguros .....	3,000 soles.
Seguro social y Fondo nacional de salud (7% de sueldos y jornales) .....	10,920 soles.
Gastos de ventas y distribución local .....	20,000 soles.
Fletes de los embarques al extranjero .....	240,000 soles.
Imprevistos y varios misceláneos .....	120,000 soles.
Total de gastos fijos .....	778,445 soles.

## d) Capital total de inversión:

Terreno y edificación .....	413,650 soles.
Moblaje de las oficinas .....	15,000 soles.
Equipo para laboratorio y taller .....	35,000 soles.
Maquinarias e instalación .....	4,096,180 soles.
Capital de trabajo:	
Sueldos y jornales .....	156,000 soles.
Materias primas y auxiliares .....	1,046,482 soles.
Gastos fijos .....	778,445 soles.
	1,980,927 soles.
Capital total de inversión .....	6,540,757 soles.

e) Valor total de la producción anual:

2,600,000 Kg. a S/. 4.00 el Kg = 10,400,000 soles.

f) Costo anual de operación:

Mano de obra y supervisión .....	624,000 soles.
Materias primas y auxiliares .....	4,185,928 soles.
Gastos fijos .....	3,113,780 soles.
Costo total de operación .....	7,923,708 soles.

g) Utilidades:

Utilidad bruta: 10,400,000 - 7,923,708 = 2,476,292 soles.

Impuestos a las utilidades según Ley N° 7904 del 26 de Julio de 1934: 489,458 soles.

Además se aplica sobre la utilidad líquida 2% Pro-Desocupados:

0.02 x 2,476,292 = 49,526 soles.

Total de impuestos: 489,458 + 49,526 = 538,984 soles.

Utilidad líquida: 2,476,292 - 538,984 = 1,937,308 soles.

h) Retorno de la inversión:

1,937,308 x 100/6,540,757 = 29.80%

Luego en poco más de tres años retornaría el capital de inversión.

Para los efectos de financiación por empréstito bancario puede considerarse que la amortización del préstamo concluye al cabo de 4 ó 5 años, según el tipo de interés que fije el Banco.

• • • • •  
• • •  
•



## BIBLIOGRAFIA

## 1) GENERALIDADES:

- Protective and Decorative Coatings  
Paints, Varnishes, Lacquers and Inks ..... J. Mattiello.
- Paint Manual (National Bureau of  
Standards) ..... P. Walker.
- A.S.T.M. Specifications:  
D 208-26 (Lithopone)  
D 477-41 (Zinc sulfide pigments)..... -
- Diccionario Enciclopédico Salvat ..... Ed. Salvat  
Barcelona (España).
- Diccionario de Química ..... S. Miall.
- Chemie Lexikon ..... H. Römpp.
- Los minerales ..... T.S. Lovering.
- Los minerales ..... P.J. Benet y  
J.L. Benet.
- Geografía del Perú  
(Política y Económica) ..... S. García S.J.
- Catálogos de Bayer Farbenfabriken  
N°s.: Sp 1 - 582/5370 b  
Sp 3 - 538/16465  
Sp 52 - 558/15139 ..... Bayer A. F.

## 2) ESTADISTICA:

- Boletín de Estadística Industrial 1954 y Padrón de Industrias  
Manufactureras al 1° de Agosto de 1956.
- Boletines del Anuario Estadístico del Comercio Exterior, años  
1949 a 1956.
- Anuario Estadístico del Perú, años 1950 a 1956.

- Boletín de Estadística Peruana 1958, publicado en Marzo del presente año por la Dirección Nacional de Estadística y Censos del Ministerio de Hacienda y Comercio.

### 3) QUIMICA GENERAL

- Química General Aplicada ..... L. Postigo.
- Química General Moderna ..... J.A. Babor, y J. Ibarz.
- Química General ..... I. Puig.

### 4) QUIMICA ANALITICA:

- Química Analítica ..... Kolthoff, I.M.
- Scott's Standard Methods of Chemical Analysis -
- Standard Methods of Chemical Analysis ..... -
- Tratado de Química Analítica ..... F.P. Treadwell.
- Análisis Químico Cuantitativo ..... H. Willard y H. Furman.

### 5) PROCESOS UNITARIOS Y TECNOLOGIA QUIMICA:

- Chemical Process Industries ..... N. Shreve.
- Encyclopaedia of Chemical Technology ..... Kirk y Othmer.
- Enciclopedia de Química Industrial ..... Ullmann.
- Handbook of Chemical Engineering ..... D. Liddell.
- Fabricación de Productos Químicos ..... H. Rivera.
- Metalurgia Extractiva, Física,  
Mecánica y Química ..... Jimeno y Morral.
- The Non Ferrous Production  
Metallurgy ..... L. Bray.
- Introduction to Physical-Chemistry ..... A. Findlay.
- Enciclopedia Británica ..... -
- Enciclopedia Italiana ..... -

## 6) BALANCES DE MATERIAS Y DE ENERGIA:

- Chemical Process Principles ..... O.A. Hougen, Watson, y Ragazt.

## 7) OPERACIONES UNITARIAS Y CALCULO DE EQUIPO:

- Chemical Engineering Handbook ..... J. Perry.
- Plant Engineering Handbook ..... W. Staniar.
- Unit Operations ..... G.G. Brown.
- Applied Thermodynamics ..... Faires.
- Fuels, Combustion and Furnaces ..... Griswold.
- Industrial Furnaces ..... W. Trinks.
- Chemical Machinery ..... E. Riegel.
- Process Heat Transfer ..... Kern.
- Handbook of Mineral Dressing ..... Taggart.
- Bombas de efecto centrífugo ..... Herrero Egaña.
- Pumps ..... Kristal & Annet.
- Curso de Bombas Centrífugas ..... I.P.Co.
- Apuntes tomados en clases de Operaciones Unitarias al Ing. Joaquín Vargas Figallo, y al Ing. Manuel Nieto.
- Artículos por Ralph Gibbs sobre capacidad, performance y cálculo de hornos rotatorios para cal, publicados por Chem. & Met. Eng.: 50 (8), 117 (1943);  
53 (4), 99 (1946);  
53 (5), 139 (1946).
- Artículo titulado "How to Scale Up a Rotary Kiln", por J.A. Luethge, publicado en el Chemical Engineering de Diciembre de 1951, págs 151 - 153.

## 8) ESPECIFICACION DE EQUIPO:

- MOLINOS: a- Catálogo Allis-Chalmers N° 07B6718A.  
b- Id. Pulverizing Machinery Co. N° 61865 P.

- BOMBAS: a- Catálogo de Alfred Wirth y Co. N° 5281.  
b- Boletín H-100 de Axelson Mfg. Co.  
c- Bombas Dorrco: Perry op. cit. pág. 945, tabla N° 4.
- VENTILADORES Y EXTRACTORES: Catálogos de la American Blower Co.  
N°s.: A-801; B-5529; 8314; 5306.
- ~~QUEMADORES~~: Catálogo de Schutte & Koerting B835a.

NOTA.- El resto del equipo es especificado siguiendo normas e información técnica citadas en el Manual de Perry.

#### 9) INGENIERIA INDUSTRIAL:

- Chemical Business Handbook ..... J. Perry.
- Chemical Engineering Plant Design ..... Vilbrant.

#### 10) INGENIERIA GENERAL:

- Strength of Materials ..... Poorman.
- Resistencia de materiales ..... Zavala C.

#### 11) ASUNTOS TECNICO ECONOMICOS:

- El costo de las obras ..... Vidal Pardal.
- Unit Processing Equipment Costs - June 1957 . -
- Artículo titulado "Economía necesaria para ingenieros", publicado en el Comercio, Edición de la Mañana del día 8 de Mayo de 1958 por el señor E.I. Wygoard, presidente de la Misión Técnica de las Naciones Unidas para el Perú.

#### 12) LEGISLACION INDUSTRIAL:

- Normas Legales ..... Velarde Morán  
(Año 1948).

FUENTES DE INFORMACION.

1) MATERIAS PRIMAS:

Peruvian Chemical Industries.

The Barmine Company.

Cerro de Pasco Corporation.

M. Hostchild & Cia.

Compañía Carbonera Chimbote.

2) LITOPON:

Socolán S.A.

E. Ferreiros & Cia. S.A.

Cosmana S.A.

A. y F. Wiese S.A.

Industriales Perú S.A.

3) COTIZACION DE TERRENOS:

Cuerpo Técnico de Tasaciones.

4) EQUIPO INDUSTRIAL:

International Machinery Co. (IMACO).

Peruvian Trading Corp.

A. y F. Wiese S.A.

Cosmana S.A.

Brill Equipment Co. (New York, U.S.A.).

## INDICE GENERAL

ASUNTOS	PAGINAS
Prólogo .....	I
Resumen de la Tesis .....	IV
Capítulo I: Generalidades .....	1
Capítulo II: Mercado y Capacidad de Producción .	20
Capítulo III: Materias Primas y Ubicación de la Fábrica .....	30
Capítulo IV: Procedimientos de Fabricación .....	49
Capítulo V: Cálculos Técnicos .....	72
Capítulo VI: Asuntos Técnico-Económicos .....	198
Bibliografía .....	206
Fuentes de Información .....	210