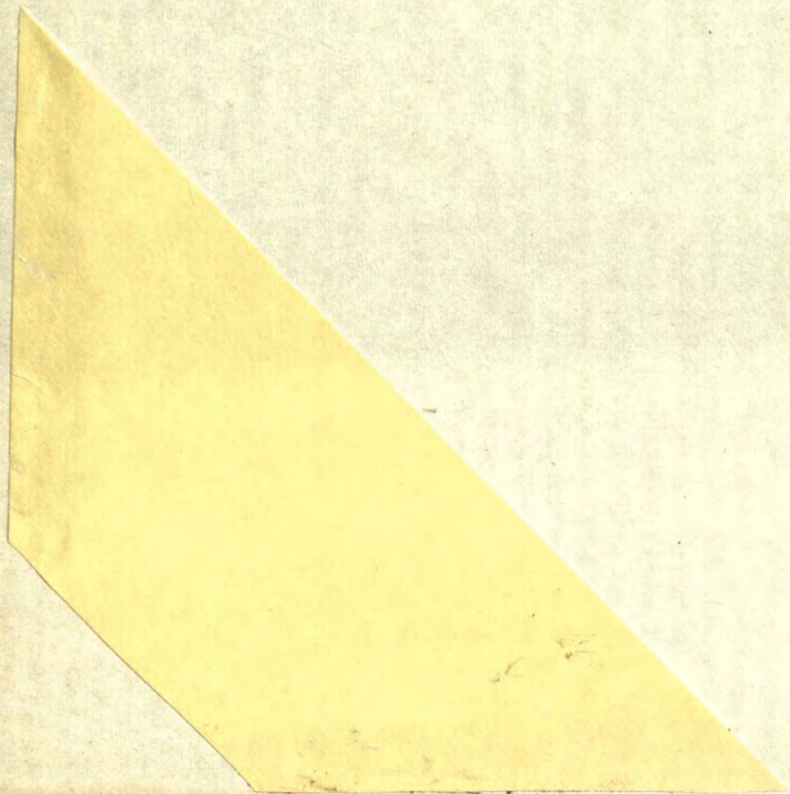


UNAM



108

TESIS-BCCT





INSTITUTO DE GEOLOGIA
BIBLIOTECA

T. 116
108

Un. Nacional de México, Edmundo
Castellanos, 1945,
México, 176,
p. 111, 112.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Ciencias Químicas

Anteproyecto de una Fábrica de Pigmentos Azules de Fierro

TESIS

que para su Examen Profesional
de Ingeniero Químico
presenta

JOSE TERRONES LANGONE.



BIBLIOTECA

México, D. F.
1945.

370(300)
e 8a

CLASIF. TJ 1945- I-1
ADQUIS. I-1/6
FECHA _____
PROCESO _____

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

ANTEPROYECTO DE UNA
FABRICA DE PIGMENTOS AZULES DE FIERRO

T E S I S
que para su
Examen Profesional
de

INGENIERO QUIMICO

presenta

JOSE TERRONES LANGONE



México, D. F.

1945

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUÍMICAS

890(300)

ANTHOTO DE UNA

FABRICA DE PIGMENTOS AZULES DE HIERRO

T E S I S
que para su
Examen Profesional
de
INGENIERO QUÍMICO
presenta
JOSE TERRORES LANGONE



México, D. F.

1942

Capítulo I. - Historia del libro

Capítulo II. - El problema de la vida

Capítulo III. - El alma y el cuerpo

Capítulo IV. - El alma y el cuerpo

Capítulo V. - Conclusiones

A MIS PADRES,
con todo mi cariño
e inmensa gratitud.

A MIS PADRES,
con todo mi cariño
e inmensa gratitud.

JOSE TERRONES LANGONE
INGENIERO QUIMICO

CALLE TACUBA 92, DESP 28
MEXICO, D. F.

TEL. 13-41-42

S U M A R I O

	Págs.
Capítulo I.- Introducción	1
Capítulo II.- Materias Primas	3
Capítulo III.- Pigmentos Azules de Fierro	16
Capítulo IV.- Cálculo y selección del equipo	34
Capítulo V.- Estudio Económico	74
Capítulo VI.- Conclusiones	79

SUMARIO

Págs.

1	Capítulo I.- Introducción
3	Capítulo II.- Materias Primas
16	Capítulo III.- Pigmentos Azules de Hierro
34	Capítulo IV.- Cálculo y selección del equipo
74	Capítulo V.- Estudio Económico
79	Capítulo VI.- Conclusiones

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

La idea inicial al comenzar este estudio fué la de aprovechar el sulfato ferroso (caparrosa) en la fabricación de pigmentos azules, rojos, cafés, y amarillos de fierro para obtener productos de alta calidad, ya que en la actualidad la mayoría de los fabricantes de pigmentos los elaboran, con excepción de los azules de fierro, a partir de tierras naturales más o menos molidas, según la finura deseada para la calidad de la pintura y aunque pueden encontrarse en la República yacimientos de estas tierras más o menos puros, siempre contienen impurezas, - las cuales impiden obtener una pintura de alta calidad. Debido a la extensión de un trabajo de esta naturaleza se prefirió estudiar con detenimiento la elaboración de los pigmentos azules de fierro a partir de la caparrosa, ferrocianuro de sodio y sulfato de amonio. Las razones por las cuales se prefirió estudiar los pigmentos azules de fierro son las siguientes:

1.- Según se tiene entendido no existe en la República ninguna fábrica que se dedique a la elaboración de este tipo de pigmentos.

2.- El precio de este producto en el mercado mexicano no es muy elevado, pues se vende a razón de \$ 8.00 el kg.

El presente trabajo también tiene por objeto dar -- una orientación al capital mexicano que se interese por el fomento de la industria de los pigmentos en el país.

S U M A R I O

Págs.

1	Capítulo I.- Introducción
3	Capítulo II.- Materias Primas
16	Capítulo III.- Pigmentos Azules de Hierro
34	Capítulo IV.- Cálculo y selección del equipo
74	Capítulo V.- Estudio Económico
79	Capítulo VI.- Conclusiones

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

La idea inicial al comenzar este estudio fué la de aprovechar el sulfato ferroso (caparrosa) en la fabricación de pigmentos azules, rojos, cafés, y amarillos de fierro para obtener productos de alta calidad, ya que en la actualidad la mayoría de los fabricantes de pigmentos los elaboran, con excepción de los azules de fierro, a partir de tierras naturales más o menos molidas, según la finura deseada para la calidad de la pintura y aunque pueden encontrarse en la República yacimientos de estas tierras más o menos puros, siempre contienen impurezas, - las cuales impiden obtener una pintura de alta calidad. Debido a la extensión de un trabajo de esta naturaleza se prefirió estudiar con detenimiento la elaboración de los pigmentos azules de fierro a partir de la caparrosa, ferrocianuro de sodio y sulfato de amonio. Las razones por las cuales se prefirió estudiar los pigmentos azules de fierro son las siguientes:

1.- Según se tiene entendido no existe en la República ninguna fábrica que se dedique a la elaboración de este tipo de pigmentos.

2.- El precio de este producto en el mercado mexicano no es muy elevado, pues se vende a razón de \$ 8.00 el kg.

El presente trabajo también tiene por objeto dar -- una orientación al capital mexicano que se interese por el fomento de la industria de los pigmentos en el país.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La idea inicial al comenzar este estudio fue la de aprovechar el sulfato ferroso (caparrosa) en la fabricación de pigmentos azules, rojos, café, y amarillos de tierra para otros productos de alta calidad, ya que en la actualidad la mayoría de los fabricantes de pigmentos los elaboran, con excepción de los azules de tierra, a partir de tierras naturales más o menos molidas, según la finura deseada para la calidad de la pintura y cuando pueden encontrarse en la República Mexicana de esas tierras más o menos puras, siempre contienen impurezas, las cuales impiden obtener una pintura de alta calidad. Debido a la extensión de un trabajo de esta naturaleza se prefirió estudiar con detenimiento la elaboración de los pigmentos azules de tierra a partir de la caparrosa, ferrocianuro de sodio y sulfato de amonio. Las razones por las cuales se prefirió estudiar los pigmentos azules de tierra son las siguientes:

- 1.- Según se tiene entendido no existe en la República ninguna fábrica que se dedique a la elaboración de este tipo de pigmentos.
- 2.- El precio de este producto en el mercado mexicano no es muy elevado, pues se vende a razón de \$ 8.00 el kg.
- 3.- El presente trabajo también tiene por objeto dar una orientación al capital mexicano que se interesa por el fomento de la industria de los pigmentos en el país.

Antes de seguir adelante se debe agradecer la ayuda prestada por la Cía. de las Fábricas de Papel de San Rafael y - Anexas, S. A., al facilitar sus laboratorios para los trabajos experimentales que se hicieron en el transcurso de este trabajo, haciendo extensivo este agradecimiento al Sr. Don Jesús Escalante, Director Técnico de la Fábrica de Papel de San Rafael. También se agradece la ayuda prestada por los Ings. Químs. Ernesto Ríos y Alberto Urbina, al primero por la dirección de este trabajo y al segundo por sus valiosos consejos.

Antes de seguir adelante se debe agradecer la ayuda
 prestada por la Cia. de las Fábricas de Papel de San Rafael y
 - Anon. S. A., al facilitar sus laboratorios para los trabajos
 experimentales que se hicieron en el transcurso de este trabajo,
 haciendo extensivo este agradecimiento al Sr. Don Jesús Escobar
 de, Director Técnico de la Fábrica de Papel de San Rafael. Tam-
 bién se agradece la ayuda prestada por los Ing. Quím. Ernesto
 Ríos y Alberto Urbina, al primero por la dirección de este tra-
 bajo y al segundo por sus valiosos consejos.

CAPITULO II

MATERIAS PRIMAS

Aunque el presente trabajo tan sólo está dedicado a un proyecto para pigmentos azules de fierro, en este capítulo se tratará a grandes rasgos la aplicación de las materias primas usadas para los pigmentos azules de fierro en la industria de los pigmentos en especial y en otras industrias químicas. - Esto se hace con objeto de que el lector se dé cuenta de la urgente necesidad que tiene el país de estos productos químicos - ya que sin la creación de industrias bases que proporcionen las materias primas para las industrias que de ellas dependan, la - naciente industria química nacional dependerá siempre de países más industrializados que el nuestro, lo cual se traduce en una serie de obstáculos para su robustecimiento, obstáculos que muchas veces la harán tambalear.

También se darán algunas propiedades físicas, y las fuentes de obtención de cada una de las materias primas para -- los azules de fierro.

Estas materias primas son:

- 1.- Sulfato ferroso.
- 2.- Ferrocianuro de sodio.
- 3.- Un agente oxidante: dicromato o clorato de sodio.
- 4.- Sulfato de amonio.
- 5.- Acido sulfúrico.

SULFATO FERROSO HEPTAHIDRATADO

Fórmula química: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

CAPÍTULO II

MATERIAS PRIMAS

Aunque el presente trabajo tan sólo está dedicado a un estudio para pigmentos azules de hierro, en este capítulo se tratará a grandes rasgos la aplicación de las materias primas más usadas para los pigmentos azules de hierro en la industria de los pigmentos en especial y en otras industrias químicas. Esto se hace con objeto de que el lector se dé cuenta de la urgente necesidad que tiene el país de estos productos químicos y de que sin la creación de industrias bases que proporcionen las materias primas para las industrias que de ellas dependen, la industria química nacional dependerá siempre de países más industrializados que el nuestro, lo cual se traduce en una serie de obstáculos para su desenvolvimiento, obstáculos que muchas veces la harán tambalear.

También se darán algunas propiedades físicas, y las fuentes de obtención de cada una de las materias primas para los azules de hierro.

Estas materias primas son:

- 1.- Sulfato ferroso.
- 2.- Ferrocianuro de sodio.
- 3.- Un agente oxidante: dicromato o clorato de sodio.
- 4.- Sulfato de amonio.
- 5.- Acido sulfúrico.

SULFATO FERROSO HEPTAHIDRADO

Fórmula química: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Peso molecular: 278.01

Cristaliza en el sistema monoclinico, siendo los --
cristales de color azul verde.

Peso específico: 1.899 14.8°

Punto de fusión: 64°C.

Punto de ebullición: (-7H₂O) 300°C.

Capacidad calorífica a presión constante entre las
temperaturas de 291-319°K: 96 cal/mol gr.

Calor de solución, absorbido al disolverse el peso
de un gramo fórmula en 400 moles de agua: -4.4 Cal/gramo mol.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA, °C	M
0	1.030
10	1.35
20	1.74
30	2.16
40	2.65
50	3.17
60	3.62
70	3.36
80	2.88
90	2.46

La solubilidad M está expresada en gramos-fórmula -
de substancia anhidra en 1000 gr. de agua.

Los cristales son estables al aire y la solución es
menos oxidable con el aire atmosférico.

El sulfato ferroso heptahidratado es conocido con -

Peso molecular: 278.01

Crystalliza en el sistema monoclinico, siendo los --

crisales de color azul verde.

Peso especifico: 1.899 a 18°

Punto de fusion: 64°C.

Punto de ebullicion: (-7H₂O) 300°C.

Capacidad calorifica a presion constante entre las

temperaturas de 291-319°K; 96 cal/mol gr.

Calor de solucion, absorvido al disolverse el peso

de un gramo formula en 400 moles de agua: -4.4 Cal/gramo mol.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

M	TEMPERATURA, °C
1.030	0
1.37	10
1.74	20
2.16	30
2.62	40
3.17	50
3.62	60
3.96	70
4.88	80
5.46	90

La solubilidad M está expresada en gramos-formula

de sustancia en 1000 gr. de agua.

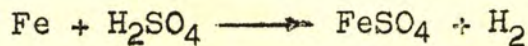
Las crisales son estables al aire y la solucion es

menos oxidable con el aire atmosférico.

El sulfato ferroso hidratado es conocido con

el nombre de caparrosa. Se le encuentra en la naturaleza en un mineral llamado melanterita.

Se obtiene a partir de fierro y ácido sulfúrico diluido según la reacción:



Una fuente de obtención es la industria del fierro y acero, pues en ella tratan sus productos con ácido sulfúrico diluido para disolver el óxido formado en sus superficies. -- Del licor así obtenido se puede recuperar el sulfato ferroso.

La planta para la recuperación del sulfato constaría de un depósito para almacenar el licor; tanques de neutralización ya que el licor es ácido y hay que neutralizarlo con pedacería de fierro, estos tanques pueden ser de madera o de lámina de fierro forrada de plomo; un filtro prensa para eliminar las impurezas insolubles; evaporadores, cristalizador, centrifugador y secador. Las aguas madres separadas en el centrifugador se regresarán al tanque donde se deposita el licor para seguir en el proceso.

Un proyecto completo para una planta recuperadora del sulfato ferroso se encontrará en el libro "Plant Design", - Vilbrandt en la pág. 197.

Si el licor de las fábricas de acero fuera insuficiente para obtener la caparrosa necesaria para surtir el mercado, la planta deberá tener incluido un equipo para disolver pedacería de fierro mediante ácido sulfúrico.

Sería además interesante estudiar la manera de recuperar el sulfato ferroso de la melanterita.

de la naturaleza de la materia en la naturaleza en -
la mineral llamada telúrica.

Se obtiene a partir de hierro y ácido sulfúrico di-
óxido según la reacción:



Una fuente de operación es la industria del hierro
y acero, pues en ella se usan sus productos con ácido sulfúrico
dado para disolver el óxido formado en sus superficies.
Del licor así obtenido se puede recuperar el sulfato ferroso.

La planta para la recuperación del sulfato ferroso
de un depósito para almacenar el licor; tanques de neutraliza-
ción ya que el licor es ácido y hay que neutralizarlo con peda-
citas de hierro, estas tanques pueden ser de madera o de láminas
de hierro forjado de plomo; un filtro prensa para eliminar las
impurezas insolubles; evaporadores, cristalizador, centrífuga
con y secador. Las aguas madres separadas en el centrífuga
se regresarán al tanque donde se deposita el licor para seguir
en el proceso.

Un proyecto completo para una planta recuperadora
del sulfato ferroso se encontrará en el libro "Plant Design",
Villard en la pág. 197.

Si el licor de las fábricas de acero fuera insufi-
ciente para obtener la capacidad necesaria para servir el man-
ejo, la planta deberá tener incluido un equipo para disolver pe-
queñas de hierro mediante ácido sulfúrico.
Sería además interesante estudiar la acción de reo-
perar el sulfato ferroso de la manufactura.

Debe hacerse notar aquí que el sulfato ferroso y -- las demás materias primas necesarias para la obtención de los pigmentos azules de fierro deben estar exentas de sales férricas, pues si éstas las contienen, se obtendrán cristales muy duros sin propiedades de pigmento.

La caparrosa se emplea en la industria de los pigmentos para obtener los pigmentos rojos, cafés y amarillos que son óxidos u óxidos férricos hidratados. También son necesarios para obtener los verdes de cromo mediante la coprecipitación de los azules de fierro con los amarillos de cromo. Además se emplea en la industria tintorera como mordente, en la -- conservación de las maderas y en la agricultura.

FERROCIANURO DE SOLIO

Fórmula química: $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Peso molecular: 484.1

Cristaliza en el sistema monoclinico, el color de los cristales es amarillo.

Peso específico: 1.458.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

<u>TEMPERATURA, °C</u>	<u>GRAMOS DE SUBSTANCIA ANHIDRA EN 100 gr. DE AGUA</u>
20	17.9
40	30
80	59
100	63

Los cristales son estables al aire, al calentarlos se forma un polvo blanco de sal anhidra.

Se obtiene como subproducto de la industria del coque, en la eliminación del ácido cianhídrico de los gases desprendidos en el tratamiento del carbón. La eliminación puede lograrse de dos maneras: una mediante las masas de purificación seca y otra mediante una solución de sulfato ferroso.

En las masas de purificación del gas, el cianógeno se encuentra en forma de azul de Prusia y de rodanuro amónico. Como estas masas se utilizan también para la eliminación del azufre, en la masa seca al aire se encuentra hasta el 50% de azufre libre y hasta el 14% de azul de Prusia. Estas masas se tratan con cal apagada, lexiviándose con agua; se obtiene una solución impurificada de ferrocianuro cálcico, la cual se concentra y se separa de sus impurezas. Se le agrega cloruro de sodio, formándose ferrocianuro calcicosódico, el cual se separa calentando la solución a 80°C por lo menos y con agitación. La sal filtrada y lavada se trata con sosa que hierve con vapor, separándose el carbonato de calcio. La solución se separa por decantación y se pasa a los cristalizadores, quedando el producto listo para el comercio.

La eliminación del cianógeno desprendido en el tratamiento del carbón mediante una solución de sulfato ferroso, suministra al mercado los llamados fangos de descianuración con un contenido de 18 - 20% de CN (calculado como ferrocianuro de potasio), el cual se encuentra en forma de compuestos ferrocianuros de hierro y amonio insolubles, $(\text{NH}_4)_6 \text{Fe} \left[\text{Fe}(\text{CN})_6 \right]_2$, y ferrocianuro de amonio soluble. La solución se trata con más

Se obtiene como subproducto de la industria del co-
ke, en la eliminación del ácido clorhídrico de los gases de
procedencia en el tratamiento del carbón. La eliminación puede
hacerse de dos maneras: una mediante las masas de purificación
de agua y otra mediante una solución de sulfato ferroso.

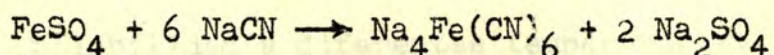
En las masas de purificación del gas, el clorógeno
se encuentra en forma de sales de Prusia y de rodanuro amónico.
Como estas masas se utilizan también para la eliminación del
sulfuro, en la masa seca el aire se encuentra hasta el 50% de
sulfuro libre y hasta el 14% de sales de Prusia. Estas masas se
tratan con cal apagada, lexivándose con agua; se obtiene una
solución impurificada de ferrocianuro cálcico, la cual se con-
centra y se separa de sus impurezas. Se le agrega cloruro de
sodio, formándose ferrocianuro cálcico-sódico, el cual se separa
calentando la solución a 80°C por lo menos y con agitación.
La sal filtrada y lavada se trata con agua que hierve con vapor,
separándose el carbonato de calcio. La solución se separa por
decantación y se pasa a los cristalizadores, quedando el produc-
to listo para el comercio.

La eliminación del clorógeno se aprende en el tra-
tamiento del carbón mediante una solución de sulfato ferroso,
analizando el mercado los llamados fangos de desulfuración con
un contenido de 18 - 20% de CN (calculado como ferrocianuro de
potasio), el cual se encuentra en forma de compuestos ferrosos
ácidos de hierro y amonio insolubles. $(NH_4)_2 Fe(CN)_6$ y
ferrocianuro de amonio soluble. La solución se trata con más

sulfato ferroso para precipitar el ferrocianuro soluble, después de lo cual se destila con arrastre de vapor para obtener el amoníaco que se encuentra en forma de sales solubles (sulfato, carbonato). El precipitado se filtra mediante filtros prensas; se trata después con lechada de cal a la ebullición, desprendiéndose amoníaco y precipitándose hidróxido de fierro; se filtra y la solución se trata de la misma manera que en el caso de las masas para la purificación seca de los gases desprendidos en la fabricación de coke.

En México se puede conseguir la materia prima para la obtención de los ferrocianuros de la fábrica de coke de Nueva Rosita, Coah.

Otra fuente de obtención es aquella que parte de la caparrosa y del cianuro sódico. Se rige mediante la siguiente reacción:



La planta deberá tener el siguiente equipo:

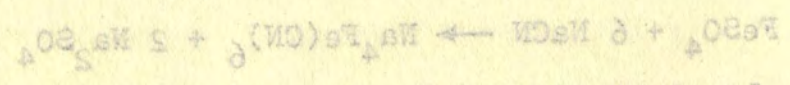
- a).- Tanques de disolución de las materias primas.
- b).- Tanque de reacción.
- c).- Filtro prensa para la eliminación de sustancias insolubles.
- d).- Evaporadores.
- e).- Cristalizador.
- f).- Centrifugador.
- g).- Secador.

El ferrocianuro obtenido como subproducto de la in-

... para precipitar el ferrocianuro soluble, des-
 pués de lo cual se desfiló con extracto de vapor para obtener
 el amoníaco que se encontraba en forma de sales solubles (salta-
 to, carbonato). La precipitada se filtra mediante filtros
 prensa, se trata después con lechada de cal a la ebullición,
 desprendiéndose amoníaco y precipitándose hidróxido de hierro;
 se filtra y la solución se trata de la misma manera que en el
 caso de las masas para la purificación seca de los gases des-
 prendidos en la fabricación de coque.

En México se puede conseguir la materia prima para
 la obtención de los ferrocianuros de la fábrica de coque de Mé-
 xico, Coahuila, Coah.

Otra fuente de obtención es aquella que parte de la
 separación y del cianuro sódico. Se sigue mediante la siguiente



La planta deberá tener el siguiente equipo:

- a) -- Tanque de disolución de las materias primas.
- b) -- Tanque de reacción.
- c) -- Filtro prensa para la eliminación de substancias inso-
 lubles.
- d) -- Evaporadores.
- e) -- Cristalizador.
- f) -- Centrifugador.
- g) -- Secador.

El ferrocianuro obtenido como subproducto de la in-

dustria del coke se emplea para la obtención de cianuros. El ferrocianuro se usa en la industria textil para teñir de azul - fibras de algodón, para lo cual éstas se impregnan de esta substancia y luego se tratan con una solución de sal férrica para obtener el azul de Prusia. De esta manera se consigue fijarlo firmemente en las fibras. Su uso en la industria de los pigmentos se explicará en el transcurso de este trabajo.

SULFATO DE AMONIO

Fórmula química: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Peso molecular: 132.14

Peso específico: 1.769 20/4°

Cristaliza en el sistema rómbico en cristales blancos.

Calor de solución a una dilución infinita: -2.75 -- cal/g.mol.

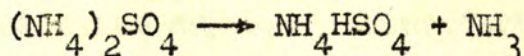
Solubilidad a diferentes temperaturas.

<u>TEMPERATURA, °C</u>	<u>M</u>
0	5.35
10	5.53
20	5.73
30	5.91
40	4.86
60	7.12
80	10.4
100	14.6

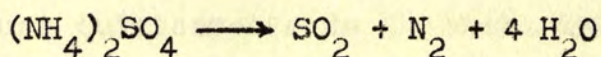
La solubilidad M está expresada en gramos fórmula -

de substancia anhidra en 1000 g. de agua.

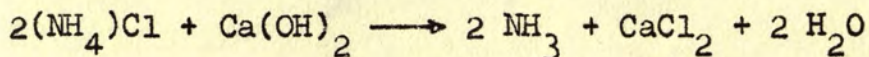
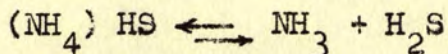
La descomposición del sulfato de amonio en polvo em pieza a los 100°C, según la reacción:



A 300°C es convertido en sulfato ácido, el cual fun de a 140°C. A altas temperaturas se descompone según la reacción:



El sulfato de amonio es obtenido como subproducto de la fabricación del coke. Del licor amoniacal formado por la disolución en agua de amoníaco, ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso desprendidos durante el tratamiento térmico del carbón, el amoníaco es recobrado mediante destilación. En la columna destiladora, es calentado con vapor poniéndose de esta manera en libertad el amoníaco libre y aquél producido por la hidrólisis de sales volátiles. El resi duo se trata con lechada de cal y más vapor para descomponer las sales fijas:



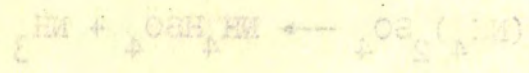
El amoníaco desprendido se hace burbujear en ácido sulfúrico al 60% hasta llegar a una concentración de sulfato de amonio de 93-99%, el cual se encuentra impurificado con ácido libre y materia orgánica.

Actualmente se prefiere recobrar el amoníaco de los

de sulfato amónico en 1000 g. de agua.

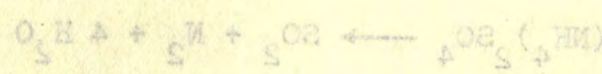
La descomposición del sulfato de amonio en polvo es

placa a los 100°C, según la reacción:



A 300°C se convierte en sulfato ácido, el cual funde

de a 140°C. A altas temperaturas se descompone según la reacción:



El sulfato de amonio se obtiene como subproducto

de la fabricación del coque. Del licor amoniacal formado por

la disolución en agua de amoníaco, ácido sulfúrico, anhídrido

carbónico y anhídrido sulfúrico desprendidos durante el trata-

miento térmico del coque, el amoníaco es recogido mediante

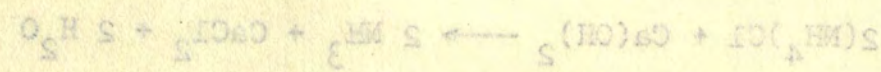
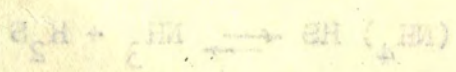
destilación. En la columna destiladora, es calentado con va-

por porción de esta manera en libertad el amoníaco libre y

se produce por la hidrólisis de sales volátiles. El resi-

duo se trata con lechada de cal y más vapor para descomponer

las sales fijas:



El amoníaco desprendido se hace burbujear en ácido

sulfúrico al 60% hasta llegar a una concentración de sulfato de

amonio de 93-95%, el cual se encuentra impurificado con ácido

libre y materia orgánica.

Actualmente se prefiere recibir el amoníaco de los

gases desprendidos de los hornos de coke, haciéndolos pasar a través de ácido sulfúrico.

Aparte del uso dado en la industria de los pigmentos al sulfato amónico, es muy usado como fertilizante de la agricultura.

AGENTE OXIDANTE

La elección del agente oxidante la determinan factores económicos pues químicamente da lo mismo usar el dicromato que el clorato.

DICROMATO DE SODIO

Fórmula: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Peso molecular: 298.05

Peso específico: 2.52 13°

Cristaliza en el sistema triclinico en cristales rojos.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA, °C	M
0	6.22
10	6.50
20	6.90
30	7.51
40	8.40
60	10.64
80	14.76
90	16.44
100	16.60

gases desprendidos de los hornos de coque, haciéndolos pasar a través de ácido sulfúrico.

Aparte del uso dado en la industria de los pigmentos el sulfato amónico, es muy usado como fertilizante de las agriculturas.

AGENTE OXIDANTE

La elección del agente oxidante la determinan factores económicos pues únicamente de lo mismo usar el dicromato que el clorato.

DICROMATO DE SODIO

Fórmula: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Peso molecular: 298.07

Peso específico: 2.52 13°

Cristaliza en el sistema triclínico en cristales ro-

jos.

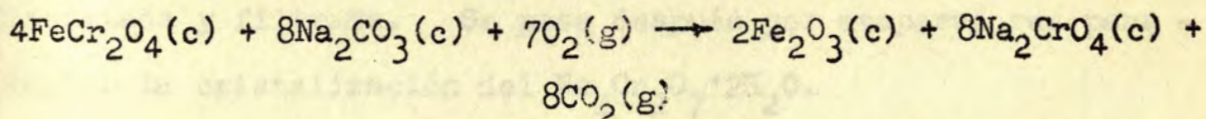
Solubilidad a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA, °C	M
0	6.22
10	6.50
20	6.90
30	7.51
40	8.40
60	10.64
80	14.76
90	16.44
100	18.60

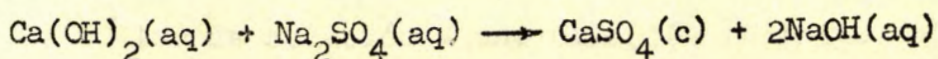
La solubilidad M está expresada en gramos fórmula - de sustancia anhidra en 1000 g. de agua.

El dicromato sódico es delicuescente.

El material básico para la obtención de bicromato - de sodio es el mineral llamado cromita (FeCr_2O_4 , 46.4% de cromo) Para que este mineral sea económicamente beneficiado debe contener no menos del 40% de óxido crómico. Si la cromita contiene azufre, éste debe ser eliminado mediante una tostación preliminar mezclado con carbonato de sodio. Durante esta tostación - el azufre presente se transforma en sulfato de sodio. El mineral libre de azufre es mezclado con carbonato de sodio y cal y tostado por espacio de 8 a 16 horas en un horno de reverbero a una temperatura de 1500 - 2000^oF; se verifica la reacción:



Durante la agitación, la carga debe ser movida mediante rastrillos para facilitar la oxidación del óxido crómico a cromato. La cal no entra en la reacción y sólo tiene por objeto hacer la masa más porosa y evitar la fusión. Después de la tostación la carga es vaciada mediante rastrillos a un piso frío donde se deja enfriar. Este material es tratado con agua hirviente en grandes tanques que tienen agitadores y se adiciona sulfato de sodio para precipitar el calcio según la siguiente reacción:



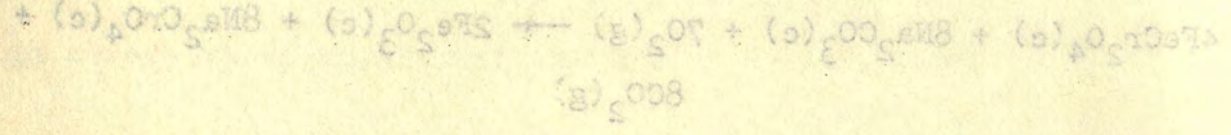
$$\Delta H = + 104,800 \text{ cal.}$$

La solubilidad de esta sustancia en agua es de 1.000 g. de agua.

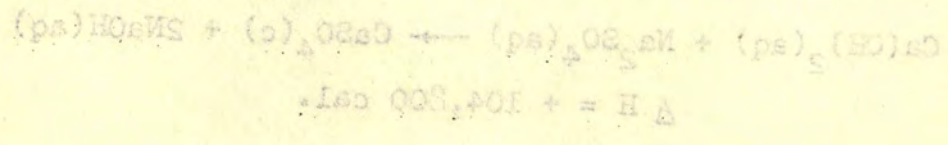
El dicromato sódico es delicuescente.

El material básico para la obtención de dicromato de sodio es el mineral llamado cromita ($FeCr_2O_4$, 46.6% de cromo). Para que este mineral sea económicamente beneficiado debe contener no menos del 40% de óxido crómico. Si la cromita contiene azufre, éste debe ser eliminado mediante una tostación preliminar mezclada con carbonato de sodio. Durante esta tostación el azufre presente se transforma en sulfato de sodio. El mineral libre de azufre se mezcla con carbonato de sodio y es tostado por espacio de 8 a 16 horas en un horno de reverbero a

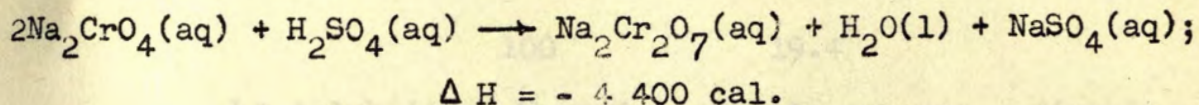
una temperatura de 1500 - 2000°K; se verifica la reacción:



Durante la tostación, la carga debe ser movida mediante resastillas para facilitar la oxidación del óxido crómico a cromato. La cal no entra en la reacción y sólo tiene por objeto hacer la masa más porosa y evitar la tracción. Después de la tostación la carga es vertida mediante resastillas a un patio rico donde se deja enfriar. Este material es tratado con agua hirviendo en grandes tanques que tienen agitadores y se adiciona un sulfato de sodio para precipitar el calcio según la siguiente reacción:



El cromato de sodio queda en solución. Esta solución es decantada y pasada por filtros para la total eliminación del óxido férrico y del sulfato de calcio. Luego es evaporada hasta que tenga una densidad de 1.5. Los cristales obtenidos mediante la evaporación y cristalización son lavados en una centrífuga, secados y calentados hasta obtener un polvo anhidro -- amarillo que contiene cerca de 95% de cromato de sodio. Esta substancia es disuelta en agua caliente y acidificada con ácido sulfúrico para formar el bicromato de sodio.



Esta solución es concentrada hasta que se precipite el sulfato de sodio. La solución conteniendo el bicromato es decantada y filtrada. Se pasa después por evaporadores para - lograr la cristalización del $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

En la industria de los pigmentos es utilizado para la obtención de pigmentos de cromo amarillos, verdes y rojos. - En la industria tintorera es usado como mordente. Es obvio citar aquí su empleo como oxidante. Es muy empleado en las tenerías como curtiente.

COLORATO DE SODIO

Fórmula química: NaClO_3

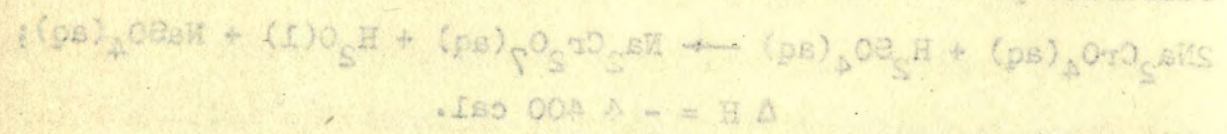
Peso molecular: 106.45

Peso específico: 2.490 15°

Calor de solución a una dilución infinita: -5.37 --

Cal/g-mol.

El cromato de sodio puede ser eliminado. Esta solución es decantada y pasada por filtros para la total eliminación del óxido férrico y del sulfato de calcio. Luego es evaporada hasta que tenga una densidad de 1.5. Los cristales obtenidos mediante la evaporación y cristalización son lavados en una celda filtrada, secados y calentados hasta obtener un polvo anhidro. Este material que contiene cerca de 95% de cromato de sodio. Esta substancia es disuelta en agua caliente y acidificada con ácido sulfúrico para formar el dicromato de sodio.



Esta solución es concentrada hasta que se precipite el sulfato de sodio. La solución concentrada el dicromato es decantada y filtrada. Se pasa después por evaporadores para lograr la cristalización del $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$.

En la industria de los pigmentos es utilizado para la obtención de pigmentos de cromo amarillos, verdes y rojos. En la industria tintorera es usado como mordante. Es usado también su empleo como oxidante. Es muy empleado en las tanas como curiente.

CLORATO DE SODIO

Fórmula química: $NaClO_3$
 Peso molecular: 106.44
 Peso específico: 2.490 g/cm^3

Calor de solución a una dilución infinita: -5.37

Cristaliza en el sistema cúbico trigonal en cristales blancos.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

<u>TEMPERATURA, °C</u>	<u>M</u>
0	7.5
20	9.2
40	11.1
60	13.4
80	16.1
100	19.4

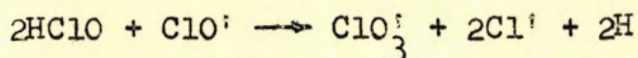
La solubilidad M está expresada en gramos-fórmula de sustancia anhidra en 1000 g. de agua.

Se puede obtener de dos maneras:

1.- Por la acción de un exceso de cloro en soluciones concentradas de álcalis.

2.- Por electrólisis de cloruros alcalinos.

La producción actual es suministrada mediante el procedimiento electrolítico en medio ácido. La electrólisis de una solución de cloruro alcalino neutra da como productos una solución de hipoclorito que contiene algo de HClO libre. Al agregarse un ácido mineral, la concentración de este HClO se incrementa considerablemente y por consiguiente la velocidad de la reacción



Los iones hidrógeno producen más HClO, el cual sigue reaccionando para producir más clorato.

Ortografía en el sistema abecedario en cristales

de las placas.

Solubilidad a diferentes temperaturas.

M	TEMPERATURA °C
7.7	0
9.2	20
11.1	40
13.4	60
16.1	80
19.4	100

La solubilidad M está expresada en gramos-fórmula

de sustancia en 1000 g. de agua.

Se puede obtener de dos maneras:

1.- Por la acción de un exceso de cloro en solución

con concentradas de ácido.

2.- Por electrólisis de cloruro alcalino.

La producción actual se suministra mediante el

procedimiento electroquímico en medio ácido. La electrólisis

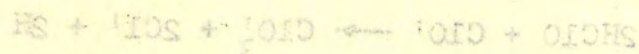
de una solución de cloruro alcalino neutro da como productos

una solución de hipoclorito que contiene algo de HClO libre.

Al agregarse un ácido mineral, la concentración de este HClO se

incrementa considerablemente y por consiguiente la velocidad de

la reacción



Los iones hidrógeno producen más HClO, el cual se

reacciona para producir más cloro.

ACIDO SULFURICO

En cuanto a esta materia prima sólo se citarán los dos métodos por los cuales es obtenida. Estos son el de las cámaras de plomo y el de contacto. No se explicarán por ser bien conocidos.

Debido al estado de guerra en que nos encontramos no fué posible obtener datos sobre producción, consumo e importación de cada una de las materias primas que se trataron en este capítulo.

En el año de 1794, Berzelius descubrió a producir el precipitado ferrico-potásico a partir de ferrocianuro de potasio y caprosá, con los cuales se obtenía un precipitado blanco el cual mediante una oxidación era transformado en el pigmento azul. Las reacciones de estas reacciones son las siguientes:

$$FeSO_4 + 2K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow 2K_2[Fe(CN)_6] + 2H_2O$$
$$2K_2[Fe(CN)_6] + KClO_3 + 25H_2SO_4 \rightarrow 2K_2[Fe(CN)_6] + 2KCl + 25H_2O$$

Con la Primera Guerra Mundial se ocasionó una escasez de potasa, dando esto motivo para que se estudiara la manera de obtener estos pigmentos azules a partir de ferrocianuro de potasio. Se solucionó el problema haciendo reaccionar el ferrocianuro de potasio con el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, obteniéndose el precipitado ferrico-potásico a partir de ferrocianuro de potasio y ácido nítrico.

ACTIVO SUBSIDIARIO

En cuanto a esta materia prima sólo se citarán los
 dos métodos por los cuales es obtenida. Estos son el de las
 cámaras de plomo y el de contacto. No se explicarán por ser
 bien conocidos.

Debido al estado de guerra en que nos encontramos
 no fue posible obtener datos sobre producción, consumo e impor-
 tación de cada una de las materias primas que se tratan en es-
 te capítulo.

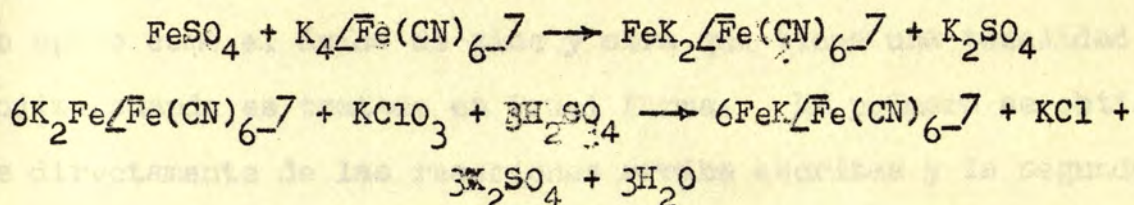
CAPITULO III

PIGMENTOS AZULES DE FIERRO.

a).- Generalidades:

Las sustancias conocidas como pigmentos azules de fierro son compuestos inorgánicos complejos cuya fórmula química corresponde a ferrocianuros férrico-potásicos y a ferrocianuros férrico-amónicos.

En el año de 1704, Alemania comenzó a producir ferrocianuro férrico-potásico a partir de ferrocianuro de potasio y caparrosa, con los cuales se obtenía un precipitado blanco el cual mediante una oxidación era transformado en el pigmento azul. Las reacciones de obtención son las siguientes:



Con la Primera Guerra Mundial se ocasionó una escasez de potasa, dando esto motivo para que se estudiara la manera de obtener estos pigmentos azules a partir de ferrocianuro sódico. Se solucionó el problema haciendo reaccionar la sal sódica con caparrosa y sulfato de amonio, obteniéndose un precipitado blanco conocido con el nombre de Blanco de Berlín, el cual azulea rápidamente al aire debido a que es fácilmente oxidable. La oxidación de este precipitado blanco es llevada a cabo con clorato o dicromato de sodio, pues es indistinto el uso de cualquiera de estos dos agentes oxidantes y sólo son fac

CAPITULO III

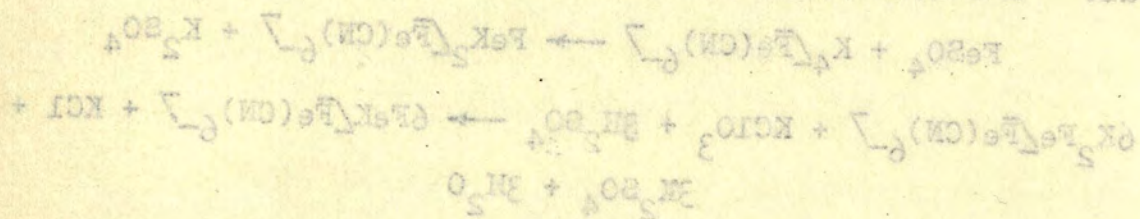
PIGMENTOS AZULES DE FERRO

Generalidades:

Las sustancias conocidas como pigmentos azules de fierro son compuestos inorgánicos complejos cuya fórmula química corresponde a ferrocianuros férrico-potásico y a ferrocianuros férrico-amónico.

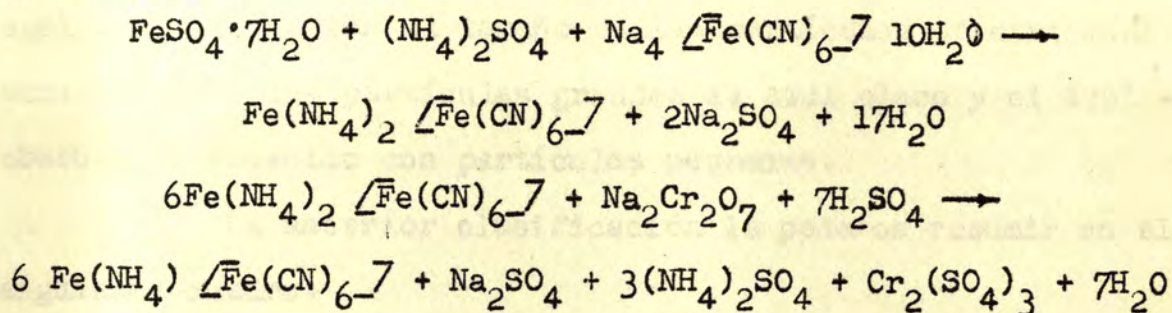
En el año de 1704, Alemania comenzó a producir ferrocianuro férrico-potásico a partir de ferrocianuro de potasio y carbonos, con los cuales se obtenía un precipitado blanco el cual mediante una oxidación era transformado en el pigmento azul.

Las reacciones de oxidación son las siguientes:



Con la Primera Guerra Mundial se ocasionó una escasez de potasa, dando esto motivo para se estudiar la manera de obtener estos pigmentos azules a partir de ferrocianuro sódico. Se solucionó el problema haciendo reaccionar la sal sódica con carbonos y sulfato de amonio, obteniéndose un precipitado blanco conocido con el nombre de blanco de Berlín, el cual azules rápidamente al aire debido a que es fácilmente oxidable. La oxidación de este precipitado blanco se lavaba a cabo con clorato o dicromato de sodio, pues es indistinto el uso de cualquiera de estos dos agentes oxidantes y sólo son las

tores económicos los que gobiernan la selección. Las reacciones efectuadas en este procedimiento son:

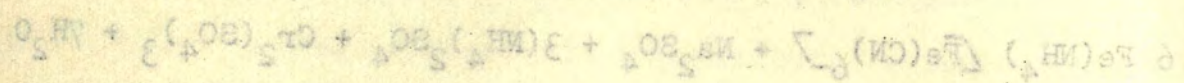
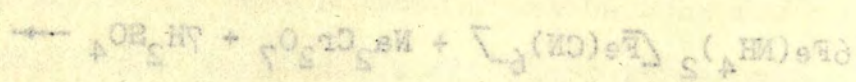
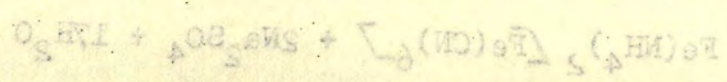
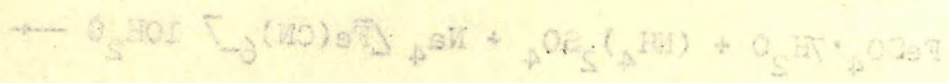


Actualmente los pigmentos azules son obtenidos principalmente mediante el último procedimiento descrito, ya que -- con él se obtiene un producto más barato y con idénticas cualidades que el ferrocianuro férrico-potásico.

Hay dos clases de pigmentos azules de fierro: una - que tiene una tonalidad verduzca cuando es reducida con un blanco opaco como el óxido de zinc y otra que tiene una tonalidad - rojiza cuando es tratada en igual forma. La primera se obtiene directamente de las reacciones arriba escritas y la segunda debe su tonalidad rojiza a la presencia del óxido férrico u óxido férrico hidratado en la molécula del ferrocianuro. El proceso de obtención de las dos clases de azules es idéntico, siendo la única diferencia que en la variedad roja se incrementa el ferrocianuro sódico con el fin de que durante la oxidación esta substancia proporcione el óxido férrico, el cual se liga íntimamente a la molécula del azul, proporcionando así al pigmento la tonalidad rojiza.

Tanto del azul tono verde como del azul tono rojo -- existen dos tipos: uno claro y otro oscuro. Estos tipos son

Los resultados económicos los que gobiernan la selección. Las reacciones
se elaboradas en este procedimiento son:



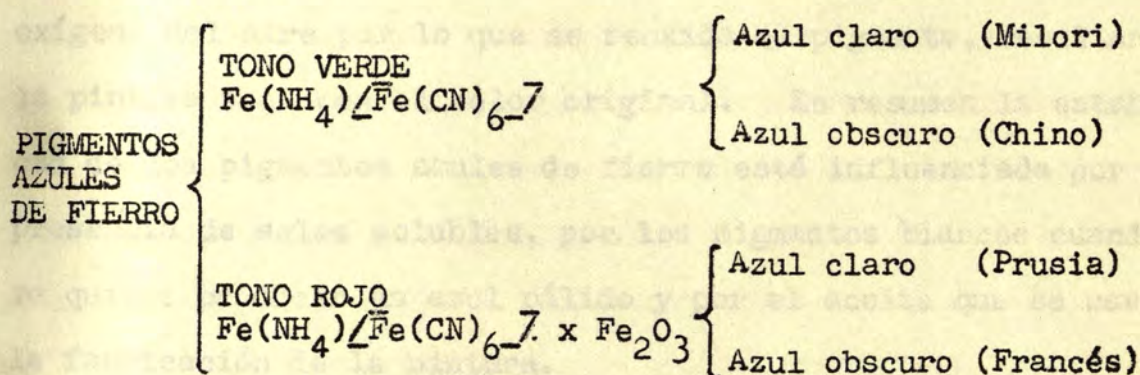
Actualmente los pigmentos azules son obtenidos principalmente mediante el mismo procedimiento descrito, ya que con él se obtiene un producto más barato y con idénticas cualidades que el ferrocianuro férrico-potásico.

Hay dos clases de pigmentos azules de hierro: una que tiene una tonalidad verdosa cuando es reducida con un blanqueador como el óxido de zinc y otra que tiene una tonalidad roja cuando es tratada en igual forma. La primera se obtiene directamente de las reacciones arriba escritas y la segunda debe su tonalidad roja a la presencia del óxido férrico u óxido de hierro hidratado en la molécula del ferrocianuro. El proceso de obtención de las dos clases de azules es idéntico, según se ve en la siguiente diferencia que en la variedad roja se incrementa el ferrocianuro férrico con el fin de que durante la oxidación esta abundancia proporcione el óxido férrico, el cual se liga íntimamente a la molécula del azul, proporcionando así al pigmento la tonalidad roja.

Tanto el azul como el rojo son tipos de azules que existen en los tipos: uno claro y otro oscuro. Estos tipos son

obtenidos variando las condiciones de reacción, tales como concentración de los reactivos y temperatura de reacción con lo -- cual se logra variar el tamaño de las partículas precipitadas, suministrando las partículas grandes el azul claro y el azul -- obscuro es obtenido con partículas pequeñas.

La anterior clasificación la podemos resumir en el siguiente cuadro:



Las palabras encerradas entre paréntesis son los -- nombres comerciales de los diferentes tipos.

Los pigmentos azules de fierro dan un color muy estable siempre y cuando no contengan sales solubles como sulfato de sodio. Cuando se ha tratado de producir pinturas de color azul pálido mezclando estos pigmentos con blanco de plomo (carbonato básico de plomo) se ha notado cambio de color en su envase, pero en cuanto se aplica a una superficie exterior, el color original se restaura. También el óxido de zinc tiene la misma acción aunque en menor grado. Esta decoloración se debe a que durante la permanencia de la pintura en el envase hay un proceso de reducción mediante el cual el ión férrico es reducido a ión ferroso produciendo el ferrocianuro ferroso-amónico de co--

operaciones variando las condiciones de resaca, tales como con-
 -- contracción de las resacas y temperatura de resaca con lo --
 cual se logra variar el tamaño de las partículas precipitadas,
 -- administrando las partículas grandes el azul claro y el azul --
 oscuro se obtenido con partículas pequeñas.
 La anterior clasificación la podemos resumir en el

			siguiente cuadro:
$\left. \begin{array}{l} \text{Azul claro (Milford)} \\ \text{Azul oscuro (China)} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{TONO VERDE} \\ \text{Fe(NH}_4\text{)}_2\text{Fe(CN)}_6 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{PIGMENTOS} \\ \text{AZULES} \\ \text{DE FIERRO} \end{array} \right\}$	
$\left. \begin{array}{l} \text{Azul claro (Francia)} \\ \text{Azul oscuro (Francia)} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{TONO ROJO} \\ \text{Fe(NH}_4\text{)}_2\text{Fe(CN)}_6 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right\}$		

Las palabras encerradas entre paréntesis son las --
 nombres comerciales de los diferentes tipos.
 Los pigmentos azules de hierro dan un color muy es-
 table siempre y cuando no contengan sales solubles como sulfato
 de sodio. Cuando se ha tratado de producir pinturas de color
 azul pálido mezclando estos pigmentos con blanco de plomo (car-
 bonato básico de plomo) se ha notado cambio de color en su enva-
 se, pero en cuanto se aplica a una superficie exterior, el color
 original se restaura. También el óxido de zinc tiene la misma
 acción aunque en menor grado. Esta decoloración se debe a que
 durante la preparación de la pintura en el envase hay un proce-
 so de reducción mediante el cual el ión férrico es reducido a --
 ión férrico produciendo el ferrocianuro ferroso-aniónico de co-

lor blanco. Cuando se fabrican pinturas con esta clase de pigmentos y un aceite que seque por oxidación, durante el tiempo que la pintura dura en el envase, el aceite actúa como agente reductor produciendo decoloración en la pintura, siendo más marcado este efecto en aquellas pinturas cuyo azul ha sido reducido con un pigmento blanco. Al ser aplicada esta pintura, el aceite tiene la oportunidad de satisfacer su afinidad con el oxígeno del aire por lo que se reoxida el pigmento, resultando la pintura seca con el color original. En resumen la estabilidad de los pigmentos azules de fierro está influenciada por la presencia de sales solubles, por los pigmentos blancos cuando se quiere producir un azul pálido y por el aceite que se use en la fabricación de la pintura.

Los azules de fierro son bastantes estables a los ácidos pero muy sensibles a los álcalis aun a los débiles, tienen buena permanencia a la luz, bajo peso específico y no son solubles prácticamente en todos los medios orgánicos. Según el medio que se use para dispersarlos varían enormemente su fuerza tintórea, su absorción de aceite, textura, tono y reactividad. Esta última varía también con el tipo de pigmento.

Los pigmentos azules de fierro están compuestos de agregados duros de partículas muy finas por lo que no son fáciles de moler. La dureza de estos agregados varía con el tono de la masa de los diferentes tipos, siendo más duros los tonos oscuros de las variedades verdes y rojos que los tonos claros de estas mismas variedades.

los blancos. Cuando se fabrican pinturas con esta clase de pigmentos y un aceite que seque por oxidación, durante el tiempo que la pintura dura en el envase, el aceite actúa como agente reductor produciendo decoloración en la pintura, siendo más marcado este efecto en aquellas pinturas cuyo aceite ha sido reducido con un pigmento blanco. Al ser aplicada esta pintura, el aceite tiene la oportunidad de satisfacer su afinidad con el oxígeno del aire por lo que se reoxida el pigmento, resultando la pintura seca con el color original. En resumen la estabilidad de los pigmentos azules de hierro está influenciada por la presencia de sales solubles, por los pigmentos blancos cuando se quiere producir un azul pálido y por el aceite que se use en la fabricación de la pintura.

Los azules de hierro son bastantes estables a los ácidos pero muy sensibles a los álcalis aun a los débiles, tienen buena permanencia a la luz, bajo poco espesores y no son solubles prácticamente en todos los medios orgánicos. Según el medio que se use para dispersarlos varían enormemente su fuerza tintórea, su absorción de aceite, textura, tono y reactividad. Los azules de hierro varían también con el tipo de pigmento.

Los pigmentos azules de hierro están compuestos de agregados de partículas muy finas por lo que no son fáciles de mojar. La dureza de estos agregados varía con el tono de la masa de los diferentes tipos, siendo más duros los tonos oscuros de las variedades verdes y rojos que los tonos claros de estas mismas variedades.

El uso de esta clase de pigmentos varía con el tipo de azul, ya que cada industria que los utiliza escoge el tipo - cuyas propiedades le proporcionarán el producto deseado; así, - los tonos claros de las variedades verdes y rojas son usados para tintas de imprenta; los tonos claros de la variedad roja son empleados en pequeñas cantidades mezclados con pigmentos negros para incrementar el color negro; los tonos oscuros de las dos variedades se emplean extensamente para colorear lacas; las variedades verdes, oscuras y claras, son usadas para obtener los verdes de cromo, ya sea precipitando el amarillo de cromo en -- presencia de ellas o precipitándolos separadamente y luego mezclándolos; los tonos oscuros de ambas variedades son empleados en la manufactura de pinturas, crayones y linóleos; por último, en la industria de las tenenías se usan en el acabado del cha-- rol y otros tipos de cueros.

b).- Descripción de una Planta para la Fabricación de Azules de Fierro.

El equipo fundamental usado en la fabricación de -- azules de fierro es el siguiente:

TANQUES DE DISOLUCION:- Son tanques abiertos de ma dera, en los cuales las materias primas se disolverán para entrar en el proceso; deben estar equipados con sistemas de agita ción y calentamiento con objeto de auxiliar en la disolución. La agitación se verifica por medio de un agitador de madera del tipo de brazos acoplado directamente o por medio de banda al mo tor; generalmente se usa este tipo de agitador por ser muy bara

El uso de esta clase de pigmentos varía con el tipo de suelo, ya que en la industria que los utiliza escoge el tipo de pigmento que le proporcionará el producto deseado; así, los tonos claros de las variedades verdes y rojas son usados en pintas de tapetes; los tonos claros de la variedad roja son empleados en pequeñas cantidades mezclados con pigmentos rojos para incrementar el color rojo; los tonos oscuros de las variedades se emplean extensamente para colores lacas; las variedades verdes, oscuras y claras, son usadas para obtener las verdes de cromo, ya sea precipitando el amarillo de cromo en presencia de ellas o precipitándose separadamente y luego mezcladas; los tonos oscuros de ambas variedades son empleadas en la manufactura de pinturas, crayones y lápices; por último, en la industria de las teneduras se usan en el estado del color y otros tipos de cueros.

b) - Descripción de una planta para la fabricación de Acido de Hierro.

El equipo fundamental usado en la fabricación de acido de hierro es el siguiente:

TANQUES DE DISOLUCION: Son tanques abiertos de metal, en los cuales las materias primas se disuelven para entrar en el proceso; deben estar equipados con sistemas de agitación y calentamiento con objeto de auxiliar en la disolución la agitación de vapor por medio de un agitador de asbesto del tipo de prueba conocido directamente o por medio de banda si no; generalmente se usa este tipo de agitador por ser muy barato.

to y además bastante eficiente. El calentamiento se efectúa - mediante serpentines por los cuales circula vapor.

TANQUES DE REACCION:- Son tanques de madera, de mayor capacidad que los anteriores y también provistos con serpentines y agitadores. En estos tanques se llevan a cabo cuatro operaciones:

1.- Precipitación:- Por reacción entre la caparrosa, el ferrocianuro de sodio y el sulfato de amonio se obtiene un precipitado coloidal conocido con el nombre de blanco de Berlín.

2.- Digestión:- Tiene por objeto flocular el coloi de formado. La influencia de los factores: temperatura, acidez, tiempo de digestión, concentración de los reactivos y rapidez de agitación en la floculación sera discutida en el inciso de Experimentación. Por lo pronto podemos decir que la variación de estos factores determina el tipo de azul que se desea obtener.

3.- Oxidación:- Su objeto es transformar el precipitado blanco obtenido en el pigmento azul. La oxidación se lleva a cabo mediante la acción de una solución de clorato o bicromato de sodio. La oxidación se efectúa en caliente para la variedad verde y en frío para la roja.

4.- Lavado:- El lavado se verifica por decantación. Tiene por objeto eliminar hasta donde sea económico las sales solubles. El número de lavados dependerá de la velocidad de sedimentación del pigmento por consiguiente será más puro aquél

no y además bastante eficiente. El calentamiento se efectúa mediante serpentina por los cuales circula vapor.

TAMBIEN DE REACCION: - Son tanques de madera de las que se usaban para los anteriores y también provistos con serpentina y agitadores. En estos tanques se llevan a cabo unas operaciones:

1.- Precipitación: - Por reacción entre la espuma de soda, el ferrocianuro de sodio y el sulfato de amonio se obtiene un precipitado colorado conocido con el nombre de blanco de Rey.

2.- Digestión: - Tiene por objeto floccular el colorado formado. La influencia de los factores: temperatura, tiempo de digestión, concentración de los reactivos y modo de agitación en la flocculación sera discutida en el inciso de experimentación. Por lo pronto podemos decir que la variación de estos factores determina el tipo de azul que se desea obtener.

3.- Oxidación: - Su objeto es transformar el precipitado blanco obtenido en el pigmento azul. La oxidación se lleva a cabo mediante la acción de una solución de clorato o dicromato de sodio. La oxidación se efectúa en caliente para la variedad verde y en frío para la roja.

4.- Lavado: - El lavado se verifica por decantación. Tiene por objeto eliminar hasta donde sea económico las sales solubles. El número de lavados dependerá de la velocidad de sedimentación del pigmento por consiguiente sera más puro después

cuyas partículas sean mayores porque considerando tiempos iguales para los diferentes tipos, aquél cuyas partículas sean mayores, recibirá mayor número de lavados.

Tanques lavadores auxiliares.- Estos tanques de madera son de igual capacidad que los tanques de reacción y como éstos tienen agitadores pero no sistema de calentamiento. Estos reciben la carga de los tanques de reacción para lavar el precipitado azul. El lavado del pigmento se hace simultáneamente en los tanques de reacción y lavadores auxiliares con lo que se logra hacer continuo el proceso ya que inmediatamente después de precipitar en los tanques de reacción, se pasa la suspensión a los tanques lavadores auxiliares y se procede a la precipitación de otra carga mientras se filtra la suspensión del tanque lavador auxiliar.

BATERIAS DE FILTROS PRENSAS.- Después del lavado la suspensión se bombea a través de baterías de filtros prensas. Los marcos de estos filtros son de madera. En estos filtros se le da un lavado final al pigmento. Se abren a mano y las tortas son depositadas en charolas de aluminio, las cuales se colocan en carros.

SECADORES.- Los secadores son de gabinete del tipo adiabático intermitente. En ellos se introducen los carros que contienen las charolas y son sacados hasta que la humedad es disminuída hasta el 1 - 2%.

PULVERIZADORES.- Estos son "Hammer-mills" de alta velocidad del tipo micropulverizador. El material molido debe

Las para los diferentes tipos, aquí cuyas partículas sean may
cuyas partículas sean mayores porque considerando siempre igual
res, recibirá mayor número de lavados.

TANQUES LAVADORES AUXILIARES.

Estos reciben la carga de los tanques de resaca para lavar el
precipitado azul. Al lavado del pigmento se hace simultánea-
mente en los tanques de resaca y lavadores auxiliares con lo
que se logra hacer continuo el proceso ya que inmediatamente
después de precipitar en los tanques de resaca, se pasa la
suspensión a los tanques lavadores auxiliares y se procede a la
precipitación de otra carga mientras se filtra la suspensión
del tanque lavador auxiliar.

BATERIAS DE FILTROS PRENSAS.

La suspensión se bombea a través de baterías de filtros prensas.
Los marcos de estos filtros son de madera. En estos filtros
se le da un lavado final al pigmento. Se abren a mano y las
tortas son depositadas en charolas de aluminio, las cuales se
colocan en carros.

SECADORES.

Los secadores son de gabinete del ti-
po adiabático inermemente. En ellos se introducen los carros
que contienen las charolas y son secados hasta que la humedad
es disminuida hasta el 1 - 2%.

PULVERIZADORES.

Estos son "Hammer-mills" de alta
velocidad del tipo micropulverizador. El material molido debe

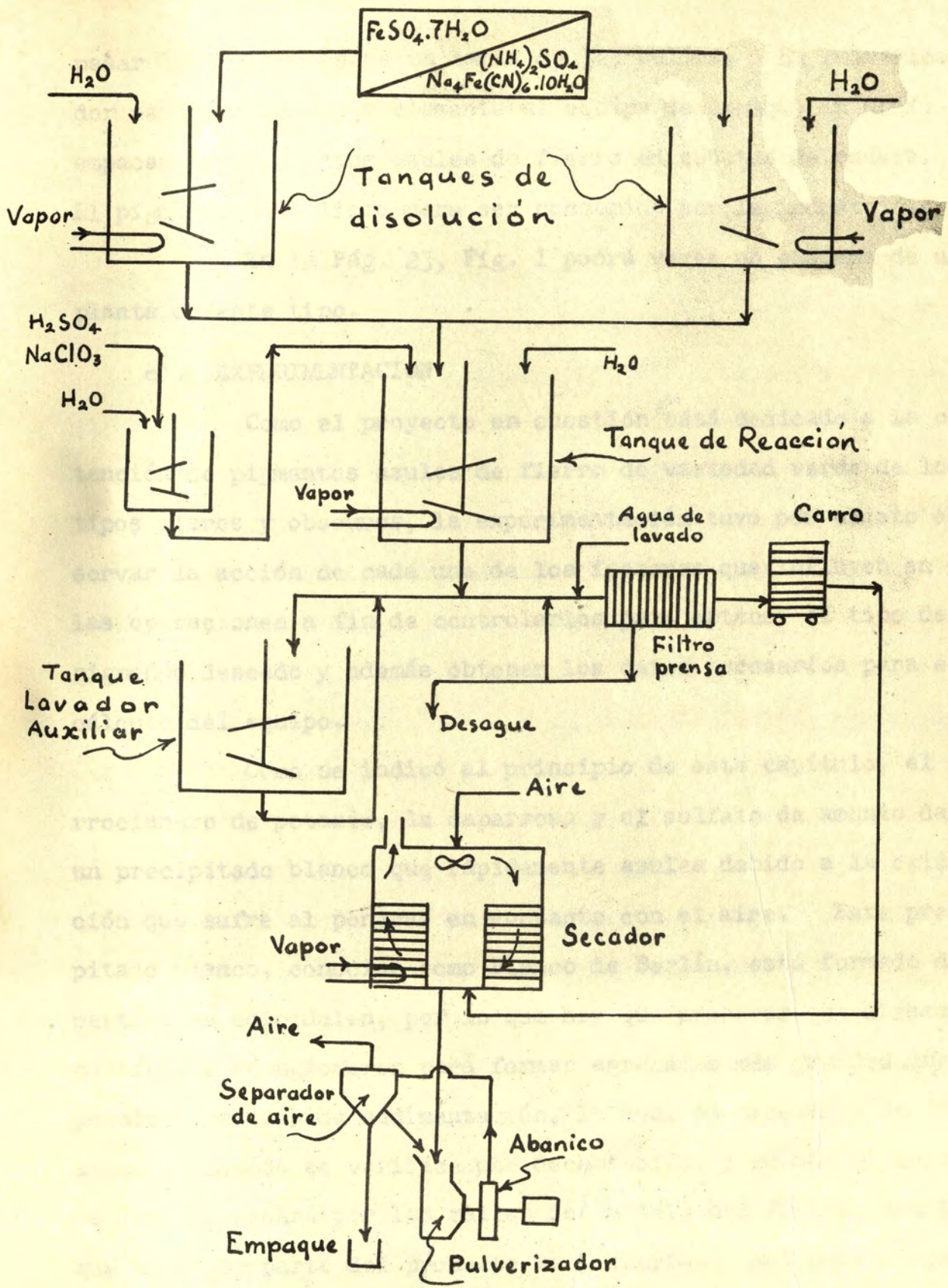


Fig. 1.

pasar 100% a través de un tamiz de 325 mallas. El pulverizador está acoplado directamente al equipo de empaque en donde se empacan los pigmentos azules de fierro en cuñetes de madera. - El pigmento está listo para ser consumido por la industria.

En la Pág. 23, Fig. 1 podrá verse un esquema de una planta de este tipo.

c).- EXPERIMENTACION

Como el proyecto en cuestión está dedicado a la obtención de pigmentos azules de fierro de variedad verde de los tipos claros y oscuros, la experimentación tuvo por objeto observar la acción de cada uno de los factores que influyen en -- las operaciones a fin de controlarlos para obtener el tipo de pigmento deseado y además obtener los datos necesarios para el cálculo del equipo.

Como se indicó al principio de este capítulo, el ferrocianuro de potasio, la caparrosa y el sulfato de amonio dan un precipitado blanco que rápidamente azulea debido a la oxidación que sufre al ponerse en contacto con el aire. Este precipitado blanco, conocido como Blanco de Berlín, está formado de partículas coloidales, por lo que hay que procurar que dichas partículas se aglomeren para formar agregados más grandes que permitan una rápida sedimentación, la cual es necesaria debido a que el lavado se verifica por decantación, y además el coloi- de formado pasará por las mallas de la tela del filtro, con lo que la mayor parte del producto se perdería. Así pues el problema que principalmente se atacó en la experimentación fué el

pasar 1000 a través de un tamiz de 325 mallas. El polvo
 por está equipado directamente el equipo de ensayo en donde se
 espesan los pigmentos azules de hierro en ensayos de maderas.
 El pigmento azul listo para ser consumido por la industria.
 En la Pág. 23, Fig. 1 podrá verse un esquema de una
 planta de este tipo.

(c) -- EXPERIMENTACION

Como el proyecto en creación está dedicado a la ob-
 tención de pigmentos azules de hierro de variedades verdes de los
 tipos claros y oscuros, la experimentación tuvo por objeto ob-
 servar la acción de cada uno de los factores que influyen en --
 las operaciones a fin de controlarlos para obtener el tipo de
 pigmento deseado y además obtener los datos necesarios para el
 cálculo del equipo.

Como se indicó al principio de este capítulo, el re-
 procesamiento de potasio, la caprosos y el sulfato de amonio dan
 un precipitado blanco que rápidamente azules debido a la oxida-
 ción que sufre al ponerse en contacto con el aire. Este preci-
 pitado blanco, conocido como blanco de Berlín, está formado de
 partículas coloidales, por lo que hay que procurar que dichas
 partículas se aglomeren para formar agregados más grandes que
 permitan una rápida sedimentación, la cual es necesaria debido
 a que el lavado y verificación por decantación, y además el coloi-
 de formado por las mallas de la tela del filtro, con lo
 que la mayor parte del producto se perdería. Así pues el pro-
 ceso que principalmente se atacó en la experimentación fue el

de la floculación del coloide.

Primeramente explicaremos la diferencia que existe entre los tonos claro y obscuro. Como la composición química de los azules de fierro variedad verde de los dos tonos es la misma, desecharemos, pues, la idea de que ésta sea la causa. Fijémosnos pues en el tamaño de las partículas. Si las partículas son producidas de un tamaño suficientemente grande, serán más o menos transparentes, debido a que la luz puede ser transmitida, siendo mayor la transmisión cuanto mayor sea el tamaño de la partícula precipitada, mientras que si el producto está formado de partículas finamente divididas, la luz es reflejada en todas direcciones y sólo una pequeña de ella puede ser transmitida y entonces la partícula aparecerá opaca. Resumiendo, se tiene que las partículas de los pigmentos azules claros deberán ser mayores que las de los oscuros.

Según el párrafo anterior, las condiciones de reacción son las que determinan el tamaño de las partículas precipitadas. Esas condiciones son la concentración de los reactivos, agitación de la masa reaccionante y la temperatura de reacción.

Si deseamos obtener una cantidad determinada de pigmento azul y si se hacen permanecer constantes la agitación y temperatura, variando la concentración de los reactivos, se irán obteniendo partículas más grandes conforme la concentración de cada uno de los reactivos se vaya aproximando al punto de saturación. Si las soluciones de los reactivos son todas saturadas permaneciendo fijas la agitación y temperatura, se obtendrá

Primeramente explicaremos la diferencia que existe

entre los tonos claros y oscuros. Como la composición química

de los azules de hierro varía de los dos tonos es la

misma, desechamos, pues, la idea de que ésta sea la causa.

Explicamos pues en el tamaño de las partículas. Si las partículas

son producidas de un tamaño suficientemente grande, serán

más o menos transparentes, debido a que la luz puede ser trans-

mitida, siendo mayor la transmisión cuanto mayor sea el tamaño

de la partícula precipitada, mientras que si el producto está

formado de partículas finamente divididas, la luz es reflejada

en todas direcciones y sólo una pequeña de ella puede ser trans-

mitida y entonces la partícula aparecerá opaca. Resumiendo,

se tiene que las partículas de los pigmentos azules claros deb-

rán ser mayores que las de los oscuros.

Según el párrafo anterior, las condiciones de reac-

ción son las que determinan el tamaño de las partículas precipi-

tadas. Estas condiciones son la concentración de los reactivos,

agitación de la masa reaccionante y la temperatura de reacción.

Si queremos obtener una cantidad determinada de pig-

mento azul y si se hacen permanecer constantes la agitación y

temperatura, variando la concentración de los reactivos, se irán

obteniendo partículas más gruesas conforme la concentración de

uno de los reactivos se vaya aproximando al punto de satur-

ación. Si las soluciones de los reactivos son todas saturadas

las permanencias fijas la agitación y temperatura, se obtendrá

el tamaño máximo de partículas.

La agitación de la masa reaccionante tiene por objeto obtener un tamaño uniforme de partículas, pues si la solución del reactivo contenido en el recipiente permanece quieta al --- agregar los otros reactivos, en la parte donde éstos caigan, se formarán "bolsas" de mayor concentración en las cuales se precipitarán partículas de mayor tamaño que en los sitios donde irá habiendo precipitación conforme se van difundiendo los reactivos agregados en el seno del reactivo contenido en el recipiente.

En la práctica, estas dos condiciones están supeditadas, la primera a la capacidad del tanque de precipitación y la segunda a la potencia del motor que mueve el agitador. Por esta causa en la experimentación se mantuvieron constantes.

Durante el trabajo de laboratorio se varió la temperatura de reacción, notándose que conforme se aumentaba ésta se iban obteniendo partículas más grandes, obteniéndose un tamaño máximo a la temperatura de ebullición.

Bajo cualquier condición de reacción se obtendrá un precipitado coloidal, el cual es necesario flocular, es decir, aglomerar las partículas. La floculación es indispensable, -- pues de otra manera sería imposible lavar por decantación ya -- que éstas partículas no se asentarían, pues la acción de la gravedad sería contrarrestada por el efecto dispersivo del movimiento browniano.

Como es bien sabido, el movimiento browniano es el resultado de la repulsión entre las partículas, debido a que és

el tamaño máximo de partículas.

La agitación de la masa reaccionante tiene por objeto obtener un tamaño uniforme de partículas, pues si la solución del reactivo contenida en el recipiente permanece quieta al agregar los otros reactivos, en la parte donde éstos caigan, se formarán "bolitas" de mayor concentración en las cuales se precipitarán partículas de mayor tamaño que en los sitios donde irán habiendo precipitación conforme se van difundiendo los reactivos agregados en el seno del reactivo contenido en el recipiente.

En la práctica, estas dos condiciones están aseguradas, la primera a la capacidad del tanque de precipitación y la segunda a la potencia del motor que mueve el agitador. Por esta causa en la experimentación se mantuvieron constantes.

Durante el trabajo de laboratorio se varió la temperatura de reacción, notándose que conforme se aumentaba ésta se iban obteniendo partículas más grandes, obteniéndose un tamaño máximo a la temperatura de ebullición.

Bajo cualquier condición de reacción se obtendrá un precipitado coloidal, el cual es necesario floccular, es decir, aglomerar las partículas. La flocculación es indispensable, pues de otra manera sería imposible lavar por decantación ya que estas partículas no se asentarían, pues la acción de la gravedad sería contrarrestada por el efecto dispersivo del movimiento browniano.

Como es bien sabido, el movimiento browniano es el resultado de la repulsión entre las partículas, debido a que éstas

tas llevan cargas eléctricas semejantes. Las partículas coloidales absorben iones y de ahí la formación de cargas eléctricas alrededor de las partículas. Si estas cargas son neutralizadas sobrevendrá la precipitación del coloide. La práctica generalmente seguida para la neutralización de las cargas eléctricas es la adición de electrólitos (bases, ácidos o sales), la precipitación del coloide es efectuada por aquel ión del electrólito agregado que tenga una carga eléctrica de signo opuesto a aquélla de las partículas coloidales. Cuanto mayor sea la valencia del ión, más grande será el poder de precipitación. Debe tenerse cuidado de agregar la cantidad necesaria de electrólito para neutralizar las cargas del coloide, pues si se agrega en exceso, el coloide permanecerá sin precipitar, debido a que el coloide después de neutralizado seguirá absorbiendo iones, por lo que se cargará con una carga eléctrica de signo opuesto a la que tenía originalmente.

En el caso que nos ocupa tenemos coloides que difieren en el tamaño de sus partículas. En el azul claro, donde las partículas son mayores, bastó la adición del ácido sulfúrico necesario para efectuar la oxidación para obtener la precipitación del coloide. La digestión de la suspensión se verificó bajo las siguientes condiciones: temperatura, 93°C ; tiempo de digestión, dos horas; rapidez de agitación, constante; adición de agua para reemplazar la evaporada. La concentración de los reactivos fué:

sol de $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ al 10%

Las llevan cargas eléctricas semejantes. Las partículas coloidales
 tales absorben iones y de ahí la formación de cargas eléctricas
 alrededor de las partículas. Si estas cargas son neutraliza-
 das sobrevendrá la precipitación del coluido. La práctica ha
 demostrado también para la neutralización de las cargas eléctricas
 con la adición de electrolitos (sales, ácidos o bases), la
 precipitación del coluido es efectiva por igual con el electrolito
 que tenga una carga eléctrica de signo opuesto
 a aquella de las partículas coloidales. Cuanto mayor sea la
 valencia del ión, más grande será el poder de precipitación.
 Debe tenerse cuidado de agregar la cantidad necesaria de electrolito
 para neutralizar las cargas del coluido, pues si se agrega
 en exceso, el coluido permanecerá sin precipitar, debido
 a que el coluido después de neutralizarse seguirá absorbiendo
 iones, por lo que se cargará con una carga eléctrica de signo
 opuesto a la que tenía originalmente.

En el caso que nos ocupa tenemos coloides que difieren
 en el tamaño de sus partículas. En el caso claro, donde
 las partículas son mayores, basta la adición del ácido sulfúrico
 en necesario para efectuar la oxidación para obtener la precipi-
 tación del coluido. La digestión de la suspensión se verifica
 bajo las siguientes condiciones: temperatura, 93°C, tiempo de
 digestión, dos horas; repidos de agitación, constantes; adición
 de agua para reemplazar la evaporada. La concentración de los
 reactivos fue:

sol de $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{OH})_2$ al 10%

sol de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ al 30%
sol de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 20% y
sol de H_2SO_4 de normalidad 4N

El azul oscuro presenta para el mismo peso una mayor superficie, debido a que las partículas son menores que el anterior con lo cual habrá un incremento de iones ligados a la superficie, proporcional al aumento de ésta, por consiguiente la cantidad de electrólito agregado deberá ser mayor que en el caso anterior. Como no se podía aumentar la cantidad de ácido debido a que sobrevendría una descomposición del producto, se aumentó la cantidad de sulfato de amonio que actúa en idéntica forma que el anterior. Se procedió pues a determinar la cantidad de sulfato de amonio que debían agregarse en exceso para obtener la floculación.

Se trabajó de la siguiente manera:

Se precipitó el blanco de Berlín con los reactivos a la misma concentración que en el caso anterior, a una temperatura mantenida entre $75 - 85^\circ\text{C}$ y bajo las mismas condiciones de agitación que en el azul claro. Las condiciones de digestión fueron: las mismas en cuanto se refiere a la temperatura y agitación; tiempo de digestión, cinco horas; adición de agua para reemplazar la evaporada.

En la primera prueba se aumentó la cantidad de sulfato de amonio en 10% sobre el peso del sulfato necesario para la precipitación; en la segunda se agregó el 20% de exceso y -- así progresivamente. Al final de las cinco horas se dejaba en

sol de (NH₄)₂SO₄ al 30%
 sol de FeSO₄ · 7H₂O al 20% y
 sol de H₂SO₄ de normalidad 4N

El azul oscuro presenta para el mismo peso una mayor superficie, debido a que las partículas son menores que el anterior con lo cual habrá un incremento de iones ligados a la superficie, proporcional al aumento de ésta, por consiguiente la cantidad de electrolito agregado deberá ser mayor que en el caso anterior. Como no se podía aumentar la cantidad de ácido debido a que sobrevendría una descomposición del producto, se aumentó la cantidad de sulfato de amonio que actúa en idéntica forma que el anterior. Se procedió pues a determinar la cantidad de sulfato de amonio que se agregase en exceso para obtener la floculación.

Se trabajó de la siguiente manera:

Se precipitó el blanco de Berlín con los reactivos a la misma concentración que en el caso anterior, a una temperatura mantenida entre 75° - 85°C y bajo las mismas condiciones de agitación que en el azul claro. Las condiciones de digestión fueron las mismas en cuanto se refiere a la temperatura y agitación; tiempo de digestión, cinco horas; adición de agua para reemplazar la evaporada.

En la primera prueba se aumentó la cantidad de sulfato de amonio en 10% sobre el peso del sulfato necesario para la precipitación; en la segunda se agregó el 20% de exceso y así progresivamente. Al final de las cinco horas se dejó en

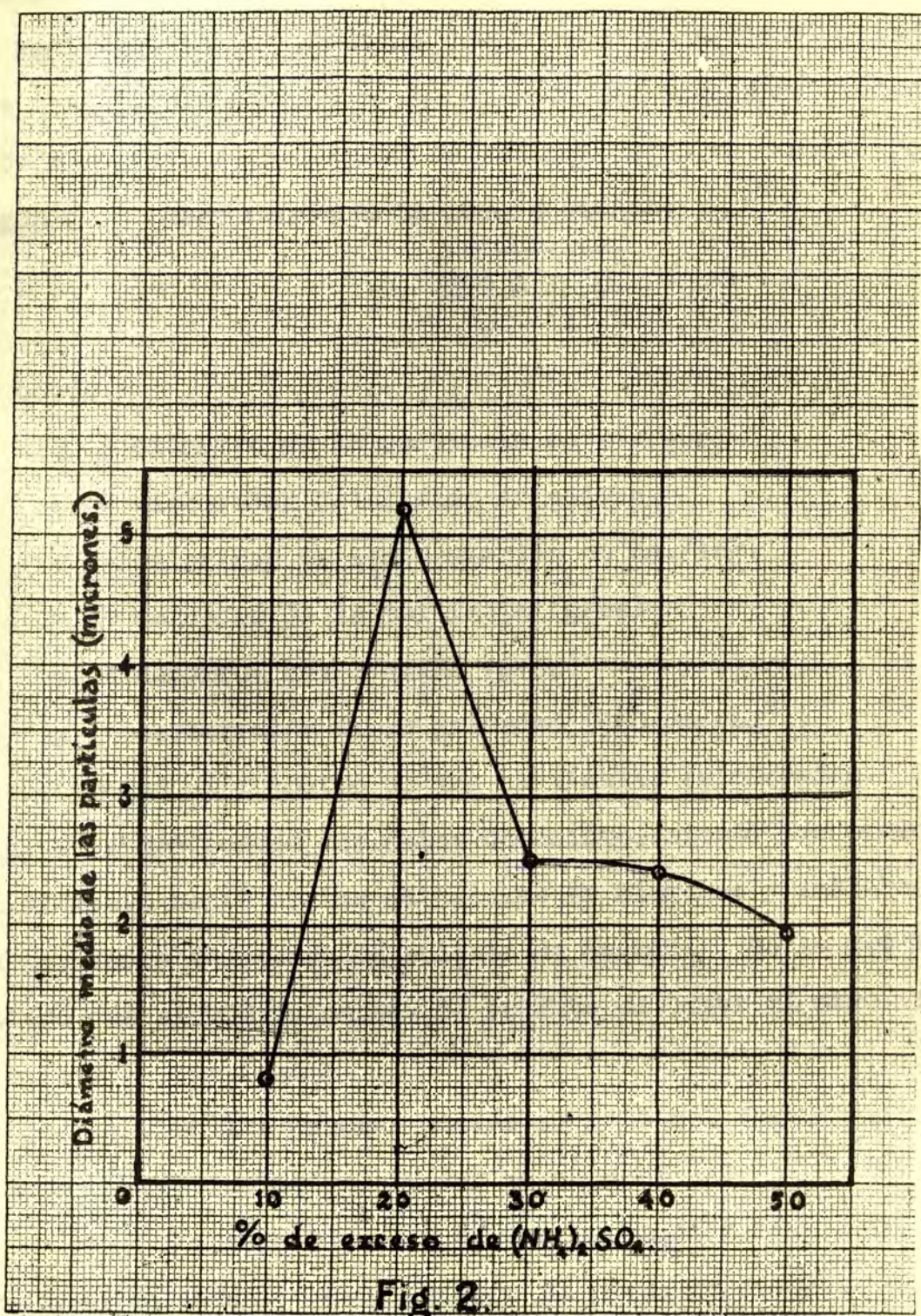


Fig. 2.

friar la suspensión y se diluían las pruebas con la misma cantidad de agua. Se vaciaban en una probeta y se medía el tiempo de sedimentación. En todas las pruebas la suspensión tenía -- una temperatura de 21°C.; con el dato del tiempo de sedimentación se obtuvo la velocidad de sedimentación en centímetros por segundo. Luego mediante la ley de Stokes:

$$d = \sqrt{\frac{1.8 z v 10^8}{(r_s - r_l) g}}$$

en donde:

d = diámetro de la partícula en micrones.

z = viscosidad del fluido en poises.

v = velocidad de sedimentación en cm./seg.

r_s = densidad de la partícula (g/cc)

r_l = densidad del líquido (g/cc)

g = aceleración de la gravedad (980/cm/seg².)

se determinó el diámetro de las partículas aglomeradas. En la Fig. 2 se graficaron los datos obtenidos, siendo las ordenadas el diámetro medio de las partículas en micrones y las abscisas el porcentaje de exceso de sulfato de amonio. En la gráfica se notará que el 20% de exceso de sulfato da lugar al mayor aglomeramiento de partículas.

En las pruebas además se notó que abajo y arriba del 20% había partículas coloidales en suspensión.

La temperatura y agitación también tienen influencia en la floculación. Como se sabe el grado de disociación de un electrólito es aumentado con la temperatura, por consiguiente -

... la suspensión y se diluyen las pruebas con la misma canti-
 dad de agua. Se vaciaban en una probeta y se medía el tiempo
 de sedimentación. En todas las pruebas la suspensión tenía
 una temperatura de 21°C.; con el dato del tiempo de sedimenta-
 ción se obtiene la velocidad de sedimentación en centímetros por
 segundo. Luego mediante la ley de Stokes:

$$d = \sqrt{\frac{v \cdot t \cdot g}{1800 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \eta}}$$

en donde:

- d = diámetro de la partícula en micrones.
- v = velocidad del fluido en cm/seg.
- t = velocidad de sedimentación en cm/seg.
- ρ_p = densidad de la partícula (g/cc)
- ρ_f = densidad del líquido (g/cc)
- g = aceleración de la gravedad (980 cm/seg².)

se determinó el diámetro de las partículas aglomeradas. En la
 FIG. 2 se graficaron los datos obtenidos, siendo las ordenadas
 el diámetro medio de las partículas en micrones y las abscisas
 el porcentaje de exceso de sulfato de amonio. En la gráfica se
 notará que el 20% de exceso de sulfato de amonio da lugar al mayor aglomera-
 miento de partículas.

En las pruebas además se notó que abajo y arriba del
 20% había partículas coloidales en suspensión.
 La temperatura y agitación también tienen influencia
 en la floculación. Como se sabe el grado de floculación de un
 coagulante es aumentado con la temperatura, por consiguiente -

mientras mayor sea la temperatura, mayor será el número de iones y de aquí una más rápida neutralización de las cargas eléctricas de los iones. Además la partícula neutralizada aumentará su energía cinética conforme se eleva la temperatura y entonces -- aumentará el movimiento de estas partículas en el seno del líquido y el resultado será que más rápidamente será atraída la partícula neutralizada, por otra partícula neutra pero de mayor tamaño. En cuanto a la agitación, tiene por objeto mantener la suspensión uniformemente distribuídos en el seno del líquido.

A continuación se dan los datos obtenidos tanto en la experimentación como en la bibliografía y que servirán para el cálculo del equipo.

Pigmento azul claro variedad verde (Milori).

Concentración de los reactivos:

sol $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	10%
sol $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	30%
sol $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20%
sol NaClO_3	10%
sol H_2SO_4	4N

Temperatura de reacción: 93°C

Temperatura de digestión: 93°C

Tiempo de digestión: 2 horas.

pH: aproximadamente 1

Los datos de viscosidad de la suspensión están graficados contra temperaturas en la curva M de la Fig. 3.

La densidad del pigmento determinada mediante el --

mientras mayor sea la temperatura, mayor será el número de iones
 y de iones que se agitan neutralizando a las cargas eléctricas
 de los iones. Cuando las partículas neutralizadas aumentan en
 energía cinética conforme se eleva la temperatura y entonces --
 aumentará el movimiento de estas partículas en el seno del li-
 quido y el resultado será que más rápidamente se agitarán las
 partículas neutralizadas, por otra parte neutras pero de mayor
 tamaño. En cuanto a la agitación, tiene por objeto mantener
 la suspensión uniformemente distribuida en el seno del líquido.
 A continuación se dan los datos obtenidos tanto en
 la experimentación como en la bibliografía y que servirán para
 el cálculo del equipo.

Pigmento azul claro variedad verde (Miloni):

Concentración de los reactivos:

10%	Sol. $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
30%	Sol. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
10%	Sol. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
10%	Sol. NaClO_3
4%	Sol. H_2SO_4

Temperatura de reacción: 93°C.

Temperatura de digestión: 93°C.

Tiempo de digestión: 2 horas.

Los datos de viscosidad de la suspensión están gra-

ficados contra temperatura en la curva M de la fig. 3.

La cantidad del pigmento determinada mediante el --

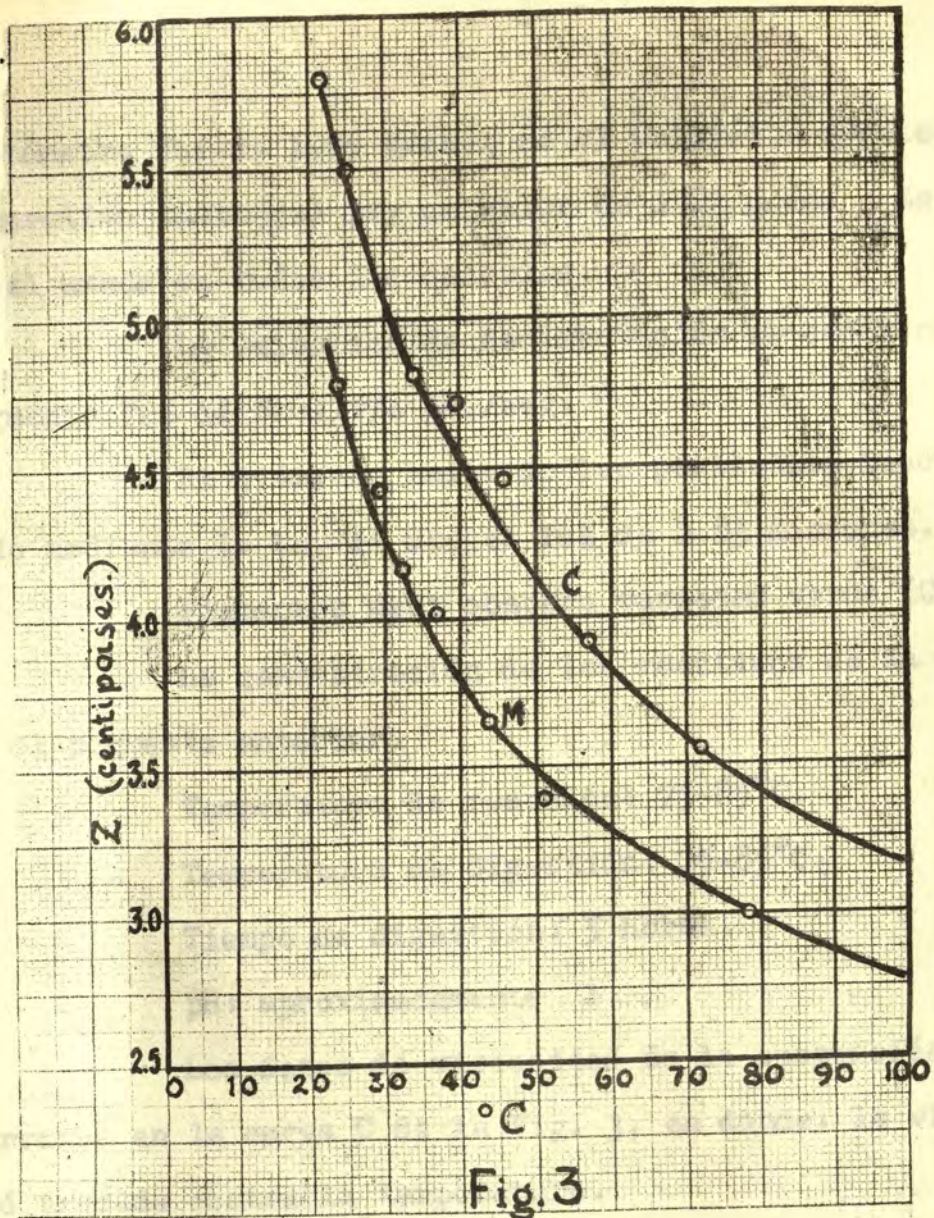


Fig. 3

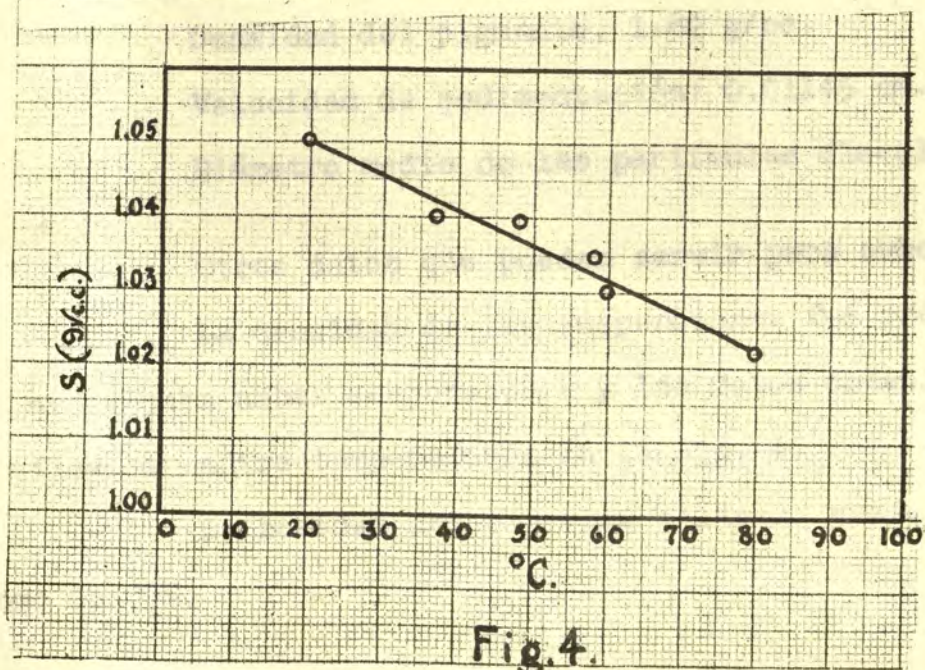


Fig. 4.

pictómetro fué de 1.75 g/cc.; en el Mattiello (Protective and Decorative Coatings) hay un valor de 1.82 g/cc. Este valor se rá el usado en todos los cálculos.

La velocidad de sedimentación obtenida para este -- pigmento fué de 0.003774 cm./seg.

El diámetro medio de las partículas floculadas obtenido mediante la ley de Stokes fué de 2.83 micrones.

Pigmentos azul oscuro variedad verde (Chino).

La concentración de los reactivos es la misma que - en el pigmento anterior.

Temperatura de reacción: 75-85°C.

Temperatura de digestión: 75-85°C.

Tiempo de digestión: 5 horas.

pH: aproximadamente 1

Los datos de viscosidad de la suspensión pueden observarse en la curva C de la Fig. 3, en donde: la viscosidad -- fué trazada contra la temperatura.

Densidad del pigmento, 1.82 g/cc.

Velocidad de sedimentación: 0.01145 cm./seg.

Diámetro medio de las partículas floculadas 5.2 micrones.

Otros datos que pueden servir para ambos pigmentos.

La densidad de las suspensiones fué prácticamente - la misma para ambas suspensiones y los datos obtenidos fueron - graficados contra temperaturas en la Fig. 4.

La humedad del pigmento filtrado puede considerarse como de 75%.

Decorative Coatings) hay un valor de 1.82 g/cc. Este valor se
es el usado en todos los cálculos.

La velocidad de sedimentación obtenida para este
pigmento fue de 0.003774 cm/seg.

El diámetro medio de las partículas floculadas obte-
nido mediante la ley de Stokes fue de 2.83 micras.

Pigmentos azul oscuro variedad verde (Chino).
La concentración de los reactivos es la misma que
en el pigmento anterior.

Temperatura de reacción: 75-85°C.

Temperatura de digestión: 75-85°C.

Tiempo de digestión: 7 horas.

PH: aproximadamente 1

Los datos de viscosidad de la suspensión pueden ob-
servarse en la curva C de la Fig. 3, en donde la viscosidad
fue trazada contra la temperatura.

Densidad del pigmento: 1.82 g/cc.

Velocidad de sedimentación: 0.01145 cm/seg.

Diámetro medio de las partículas floculadas 2.5 mi-
cras.

Otros datos que pueden servir para ambos pigmentos,
la densidad de las suspensiones fue prácticamente

la misma para ambas suspensiones y los datos obtenidos fueron
graficados contra temperatura en la Fig. 4.

La humedad del pigmento filtrado puede considerarse

Aproximada humedad crítica expresada como porcentaje de agua en base seca: 110%.

Humedad relativa del aire ambiente: 40%.

Temperatura del bulbo seco del aire ambiente: 73.4°F

Temperatura del bulbo húmedo del aire ambiente: 59°F

Todos los datos experimentales son promedios de diferentes determinaciones.

El cálculo lo dividiremos en:

- 1.- Cálculo de tanques.
- 2.- Cálculo del equipo de filtración.
- 3.- Cálculo del equipo de secado.
- 4.- Cálculo de molinos.
- 5.- Cálculo del equipo auxiliar.

1.- Cálculo de tanques.

Comprende el cálculo de los siguientes tanques:

Tanque A.- Para la disolución del ferrocianuro de sodio y del sulfato de amonio.

Tanque B.- Para la disolución del sulfato ferroso.

Tanque C.- Para la disolución del ácido salicílico y del clorato de sodio.

Tanque D.- Servirá para la precipitación, digestión y lavado del Milori.

Tanque E.- Servirá para la precipitación, digestión y lavado del Chiro.

Tanque F.- Tanque lavador auxiliar de Milori.

Tanque G.- Tanque lavador auxiliar del Chiro.

... aproximada humedad crítica expresada como porcenta-

je de agua en base seca: 110%.

Humedad relativa del aire ambiente: 40%.

Temperatura del bulbo seco del aire ambiente: 73.4° F

Temperatura del bulbo húmedo del aire ambiente: 59° F

Todos los datos experimentales son promedio de dife-

rentes determinaciones.

CAPITULO IV

CALCULO Y SELECCION DEL EQUIPO

Este capítulo está dedicado al cálculo y selección del equipo necesario para la obtención de 250 kg. diarios de cada uno de los pigmentos azules de tono verde, es decir, del Milori y Chino.

El cálculo lo dividiremos en:

- 1.- Cálculo de tanques.
- 2.- Cálculo del equipo de filtración.
- 3.- Cálculo del equipo de secado.
- 4.- Cálculo de molinos.
- 5.- Cálculo del equipo auxiliar.

1.- Cálculo de tanques.

Comprende el cálculo de los siguientes tanques:

- Tanque A.- Para la disolución del ferrocianuro de sodio y del sulfato de amonio.
- Tanque B.- Para la disolución del sulfato ferroso.
- Tanque C.- Para la disolución del ácido sulfúrico y del clorato de sodio.
- Tanque D.- Servirá para la precipitación, digestión y lavado -- del Milori.
- Tanque E.- Servirá para la precipitación, digestión y lavado -- del Chino.
- Tanque F.- Tanque lavador auxiliar de Milori.
- Tanque G.- Tanque lavador auxiliar del Chino.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO V Y SELECCIÓN DEL EQUIPO

Este capítulo está dedicado al cálculo y selección del equipo necesario para la operación de 250 kg. de azúcar de caña de uno de los tipos azules de zona verde, en el caso del Milor y Chino.

El capítulo se divide en:

- 1.- Cálculo de tanques.
- 2.- Cálculo del equipo de filtración.
- 3.- Cálculo del equipo de secado.
- 4.- Cálculo de molinos.
- 5.- Cálculo del equipo auxiliar.

Comprende el cálculo de los siguientes tanques:

- Tanque A.- Para la disolución del ferrocianuro de sodio y del sulfato de amonio.
- Tanque B.- Para la disolución del sulfato ferroso.
- Tanque C.- Para la disolución del ácido sulfúrico y del clorato de sodio.
- Tanque D.- Servicio para la precipitación, digestión y lavado del Milor.
- Tanque E.- Servicio para la precipitación, digestión y lavado del Chino.
- Tanque F.- Tanque lavador auxiliar de Milor.
- Tanque G.- Tanque lavador auxiliar del Chino.

Tanque A

a).- Capacidad.

La capacidad de este tanque se calculará tomando en consideración que alimentará a los tanques D y E en los cuales se precipitarán tres toneladas a la semana de pigmentos azules de fierro, la precipitación se llevará a cabo en un día, dejando el resto de los días de la semana para el lavado de los pigmentos. Se necesita una solución de ferrocianuro de sodio al 10% y una solución de sulfato de amonio al 30%.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton.)
$\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	5.081
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.387
H_2O	48.965
Peso total de la carga	55.433

La densidad de esta solución considerada a la máxima temperatura que va a tener es de 1.01 g/c.c., de donde el volumen ocupado por la solución es de 54.88 m³. Para tener un margen de seguridad consideraremos que el tanque tenga un volumen de 57.8 m³., o sean 15,205 gal. Las medidas de este tanque son: diámetro, 4.26 m. y altura, 4.06 m. El tanque será de madera, construido con duelas de 2".

b).- Agitación.

Se usará un agitador de brazos con el motor directamente acoplado; se recomienda este tipo por ser un agitador barato y que llena los requisitos necesarios para nuestro caso. -

Tanque A

a) - Capacidad.

La capacidad de este tanque se calculará tomando en consideración que alimentará a los tanques B y C en los cuales se precipitarán tres toneladas a la semana de pigmentos azules de fierro, la precipitación se llevará a cabo en un día, dejando el resto de los días de la semana para el lavado de los pigmentos. Se necesita una solución de ferrocianuro de sodio al 10% y una solución de sulfato de amonio al 30%.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton.)
$\text{Na}^+\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2.081
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.387
H_2O	48.965
Peso total de la carga	52.433

La densidad de esta solución considerándola a la máxima temperatura que va a tener es de 1.01 g.c.c., de donde el volumen ocupado por la solución es de 51.88 m³. Para tener un margen de seguridad consideraremos que el tanque tenga un volumen de 57.8 m³, o sean 15,205 gal. Las medidas de este tanque son: diámetro, 4.26 m. y altura, 4.06 m. El tanque será de madera, construido con cuerdas de 2".

b) - Agitación.

Se usará un agitador de brazos con el motor directamente acoplado; se recomienda este tipo por ser un agitador barato y que llena los requisitos necesarios para nuestro caso.

El agitador también será de madera.

El cálculo de la potencia necesaria para mover el - agitador se hará mediante la ecuación:

$$P = c L^3 s N^3 D^{1.1} W^{0.3} H^{0.6} \quad (1)$$

en donde:

P = potencia suministrada, h.p.

c = coeficiente de potencia, sin dimensiones.

D = diámetro del tanque, ft.

H = altura del líquido, ft.

L = longitud de los brazos, ft.

N = número de revoluciones, r.p.m.

s = densidad del líquido, lb./ft³.

W = ancho de los brazos, ft.

Los valores de c son dados en la Fig. 1 de la página 1545 del Chemical Engineers' Handbook, J.H. Perry, conociendo el número de Reynolds modificado $L^2 N s / z$, en donde z es la viscosidad absoluta en lb./(ft)(seg). En nuestro caso consideraremos la viscosidad de la solución como la del agua.

Substituyendo los siguientes datos en la ecuación (1): L = 9.85 ft., W = 0.985 ft., H = 12.6 ft., D = 13.95 ft., $s_{590F} = 65.5$ lb./ft³., $z_{590F} = 0.0008$ lb./(ft)(seg), se obtiene para un valor de N = 0.5:

$L^2 N s / z$	c	P
3,960,000	0.0000108	6.79

Considerando una eficiencia de 70% para el sistema motor-agitador, el motor deberá tener una potencia de 10 hp.

El agitador también será de madera.

El diseño de la patente necesaria para hacer el

agitador se hará mediante la ecuación:

$$P = c \cdot L^3 \cdot N^3 \cdot D^3 \cdot W^3 \cdot H^3 \cdot \mu^3$$

en donde:

P = potencia en caballos, h.p.

c = coeficiente de potencia, sin dimensiones.

D = diámetro del tanque, ft.

H = altura del líquido, ft.

L = longitud de los brazos, ft.

N = número de revoluciones, r.p.m.

μ = densidad del líquido, lb./ft.³

W = ancho de los brazos, ft.

Los valores de c son dados en la fig. 1 de la pág.

na 1545 del Chemical Engineers' Handbook, J.H. Perry, cono-

do el número de Reynolds modificado $L^2 N \mu$, en donde c es la

viscosidad absoluta en lb./ft.² sec. En nuestro caso con-

teremos la viscosidad de la solución como la del agua.

Substituyendo los siguientes datos en la ecuación -

$$(1) L = 9.85 \text{ ft.}, W = 0.985 \text{ ft.}, H = 12.6 \text{ ft.}, D = 13.95 \text{ ft.},$$

$$\mu_{\text{agua}} = 67.5 \text{ lb./ft.}^2 \cdot \text{seg.}, \mu_{\text{sol}} = 0.0008 \text{ lb./ft.}^2 \cdot \text{seg.}, \text{ se obtiene}$$

$$\text{para un valor de } N = 0.52$$

$$P = 3,360,000 \cdot 0.000108 \cdot 6.79$$

Considerando una eficiencia de 70% para el sistema

motor-agitador, el motor deberá tener una potencia de 10 hp.

cc).- Transmisión de calor.

El calor necesario para el calentamiento de la solución está dado por el siguiente balance de calor:

$$Q_T = S C_{p_s} (t_f - t_i) + \Delta W L_{t_f} + \Delta W E_{p_w} (t_f - t_i) + q_r \quad (2)$$

(I) (II) (III) (IV) (V)

en donde:

- (I) : Calor total suministrado, Btu.
- (II) : Es el calor necesario para calentar 55.995 ton. de solución de 15° a 93°C (en la masa de la solución que se va a calentar se toma en cuenta el 20% de exceso de solución de sulfato de amonio que se necesita para la obtención del Chino). El calor específico medio a presión constante de la solución es de 0.8834 Cal/(kg)(°C), este valor fué obtenido mediante la fórmula: $C_{p_s} = 1 - K$, en donde K es la concentración del material disuelto, o sea 11.66%. Con estos datos se obtiene un valor de: 15,350,000 Btu.
- (III): Calor necesario para evaporar una cantidad ΔW de agua, que supondremos sea de 100 lb. a la temperatura de: 199.4°F. El calor latente de evaporación a esa temperatura es de 979.3 Btu/lb. Substituyendo datos en (III) se tiene un valor de 97,930 Btu.
- (IV) : Como la concentración de la solución debe permanecer constante, hay que agregar agua para reemplazar la evaporada y, por consiguiente, es necesario suministrar calor a esta agua para elevar su temperatura de 15°C a 93°C. El

En estos días se está en trámite en el D. C. de D. C. y
 A. Por consiguiente, es necesario administrar estos y otros
 recursos para que se pueda hacer la distribución de los recursos
 (II) y como la consecuencia de la solución que se busca es, con
 se tiene un valor de 100.000.000.

En el caso de 100.000.000, el patrimonio que se tiene en (III)
 100.000.000. El valor presente de este patrimonio y sus rendimientos
 que se obtienen es de 100.000.000 y se representa de:

(III) El valor presente de los recursos que se obtienen de
 100.000.000.000.

El valor que se obtiene en estos días
 donde K es la consecuencia del presente que se tiene, o sea
 el valor que se obtiene de la fórmula: $CV = I - K$, en
 consecuencia de la solución es de 0.883 + $CV(1.00)^n$, se
 tiene del (II). El valor presente que se tiene y el valor
 que se obtiene de esto que se representa de la forma
 y se tiene de como en el caso de 100.000.000 de los
 días de 100.000.000 (en la mesa de la solución que se
 tiene de 100.000.000).

(II) y de el valor presente de los recursos que se obtienen
 (I) y el valor presente de los recursos que se obtienen.

En donde:
 (I) (II) (III) (IV) (V)
 $CV = 100.000.000 + \Delta CV(1.00)^n + \Delta CV(1.00)^n + \Delta CV(1.00)^n$ (5)
 que se obtiene de la siguiente manera de los:

El valor presente de los recursos que se obtienen de la
 (5) - Distribución de los recursos.

calor específico medio a presión constante del agua es -
de 0.9995 Cal/kg.°C. El calor por este concepto es de
14,050 Btu.

(V) : El calor perdido por radiación se considera como el 10%
del calor total suministrado.

La suma de los anteriores calores nos da un valor -
de:

$$Q_T = 17,179,977 \text{ Btu.}$$

Como se va a usar vapor saturado a 20 lb/in². de --
presión absoluta cuyo calor latente es de 960.1 Btu/lb, se nece
sitarán 17,850 lb. de vapor.

Para calcular el área de calentamiento aplicamos la
ecuación:

$$\frac{Q_T}{\theta} = A \frac{U_1 \Delta_2 - U_2 \Delta_1}{\ln \frac{U_1 \Delta_2}{U_2 \Delta_1}} \quad (3)$$

en donde:

Q_T/θ = calor transmitido, Btu/hr.

A = área de calentamiento, ft².

U_1, U_2 = coeficientes totales de transmisión de calor co--
rrespondientes a las diferencias de temperaturas
 Δ_1 y Δ_2 respectivamente, Btu/(hr)(ft²)(°F).

$$\Delta_1 = t_v - t_i$$

y $\Delta_2 = t_v - t_f$, siendo t_v la temperatura del vapor. Todas
las temperaturas son expresadas en °F.

Como el tiempo de calentamiento puede ser fijado, -

calor específico medio a presión constante del agua es de 0.9995 Cal/kg.°C. El calor por este concepto es de 14,050 Btu.

(V) El calor perdido por radiación se considerará como el 10% del calor total suministrado.

La suma de los anteriores calores nos da un valor -

de

$$Q_T = 17,179,977 \text{ Btu.}$$

Como se va a usar vapor saturado a 50 lb/in² de presión absoluta cuyo calor latente es de 960.1 Btu/lb, se necesitarán 17,850 lb. de vapor. Para calcular el área de calentamiento aplicamos la

ecuación:

(3)

$$\frac{Q_T}{\theta} = A \frac{U_1 \Delta_1 - U_2 \Delta_2}{\ln \frac{U_1 \Delta_1}{U_2 \Delta_2}}$$

en donde:

Q_T/θ = calor transmitido, Btu/hr.

A = área de calentamiento, ft².

U_1, U_2 = coeficientes totales de transmisión de calor correspondientes a las diferencias de temperaturas

Δ_1, Δ_2 respectivamente, Btu/(hr)(ft²)(°F).

$$\Delta_1 = t_v - t_c$$

y $\Delta_2 = t_v - t_c$, siendo t_v la temperatura del vapor. Todas

las temperaturas son expresadas en °F.

Como el tiempo de calentamiento puede ser fijado,

quedan como incógnitas en la ecuación (3)AA, U_1 y U_2 . Los valores de los coeficientes estarán dados por la ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_v} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_s}} \quad (4)$$

en la cual:

h_v = coeficiente de película del lado del vapor,
Btu/(hr)(ft²)(°F)

L = espesor de la pared del tubo, ft.

k = conductividad térmica del metal,
(Btu)(ft)/(hr)(ft²)(°F)

h_s = coeficiente de película del lado de la solución,
Btu/(hr)(ft²)(°F)

En nuestro caso despreciamos la resistencia L/k debido a que es muy pequeña comparada con las otras dos.

Para obtener el valor aproximado de h_v , aplicamos la ecuación de Nusselt para tubos horizontales:

$$\frac{h_v D}{k} = 0.73 \left(\frac{r g s^2 D^3}{k z_f \Delta} \right)^{0.25} \quad (5)$$

siendo:

$$\Delta = t_v - t_w$$

En la ecuación (5):

D = diámetro, ft.

k = conductividad térmica del fluido, Btu/(hr)(ft²)(°F/ft)

r = calor latente de condensación, Btu/lb.

g = aceleración de la gravedad, 4.18×10^8 ft/(hr)(hr).

s = densidad, lb./ft³.

quedan como incógnitas en la ecuación (3) AA, U₁, U₂. Los valores de los coeficientes estarán dados por la ecuación:

$$(4) \quad U = \frac{\frac{1}{h_v} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_a}}{\dots}$$

en la cual:

- h_v = coeficiente de película del lado del vapor, $Btu/(hr)(ft^2)(^{\circ}F)$
- l = espesor de la pared del tubo, ft.
- k = conductividad térmica del metal, $Btu/(ft)(hr)(ft^2)(^{\circ}F)$
- h_a = coeficiente de película del lado de la solución, $Btu/(hr)(ft^2)(^{\circ}F)$

En nuestro caso despreciamos la resistencia R_w debido a que es muy pequeña comparada con las otras dos.

Para obtener el valor aproximado de h_v, aplicamos la ecuación de Nusselt para tubos horizontales:

$$(5) \quad \frac{h_v D}{k} = 0.73 \left(\frac{E \cdot E_B \cdot S \cdot D^3}{k \cdot \mu \cdot \Delta} \right)^{0.25}$$

siendo:

$$\Delta = T_v - T_w$$

En la ecuación (5):

- D = diámetro, ft.
- k = conductividad térmica del fluido, $Btu/(hr)(ft)(ft^2)(^{\circ}F)$
- r = calor latente de condensación, $Btu/lb.$
- E = aceleración de la gravedad, $4.18 \times 10^8 \text{ ft}/(hr)^2$
- E_B = densidad, $lb./ft^3$

z_f = viscosidad, lb./hr)(ft)

t_w = temperatura de la pared, °F.

Los valores de s , k y z_f se consideran a una temperatura $t_f = t_v - 0.75 \Delta$.

El valor de h_s es obtenido mediante la ecuación:

$$\frac{h_s D_j}{k} = 0.87 \frac{(L^2 N s / z)^{0.62} (c z / k)^{1/3}}{(z_c / z)^{0.14}} \quad (6)$$

en donde:

h_s está dado en Pcu/(hr)(ft²)(°C)

k = conductividad térmica del fluido, Pcu/(hr)(ft²)(°C/ft)

D_j = diámetro interno del tanque, ft.

z_c = viscosidad a la temperatura del serpentín, lb/(hr)(ft)

z = viscosidad a la temperatura promedio, lb/(hr)(ft).

c = calor específico, Pcu/(lb)(°C).

L = longitud del agitador, ft.

N = rapidez de agitación, RPH.

s = densidad a la temperatura promedio, lb./ft³.

Como la temperatura de la pared del tubo se desconoce, se supone como primera aproximación y se calculan los coeficientes de película h_v y h_s correspondientes a esa temperatura. Con estos valores de los coeficientes una temperatura más correcta es obtenida substituyéndolos en la siguiente ecuación:

$$t_w = h_v t_v + h_s t_s / h_v h_s \quad (7)$$

siendo t_v y t_s las temperaturas de los fluidos. Con este valor de t_w se obtienen los valores correctos de h_v y h_s .

Para el calentamiento se usará un serpentín de co--

bre con las siguientes especificaciones: diám. ext. = 2" y ----
BWG = 12. El vapor usado tendrá una temperatura: $t_v = 228^{\circ}\text{F}$.
y un calor latente de 960 Btu/lb. La temperatura inicial de -
la solución será de 59°F . Se supondrá que la temperatura del
serpentín, como primera aproximación, sea de 190°F ., obteniéndose
se para la película de vapor un valor $t_f = 199.5^{\circ}\text{F}$., y a su vez
con este valor los de $s = 60 \text{ lb/ft}^3$, $z_f = 0.68 \text{ lb/(hr)(ft)}$ y --
 $k = 0.4 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F/ft)}$. Del lado de la solución se tie-
nen los siguientes datos: $D_j = 13.95 \text{ ft}$, $L = 9.85 \text{ ft}$, $N = 1800$
R.P.H., $s_{590^{\circ}\text{F}} = 65.5 \text{ lb/ft}^3$, $z_{590^{\circ}\text{F}} = 2.87 \text{ lb/(ft)(hr)}$, $z_{190^{\circ}\text{F}} =$
 $0.783 \text{ lb/(ft)(hr)}$, $c = 0.886 \text{ Pcu/(lb)(}^{\circ}\text{C)}$ y $k = 0.343 \text{ Pcu/(hr)}$
 $(\text{ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{C/ft)}$. Aplicando estos datos en las ecuaciones (5) y
(6) se tiene que $h_v = 1610 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$ y $h_g = 528 \text{ Btu/(hr)}$
 $(\text{ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$. Aplicando la ecuación (7) se obtiene un valor ----
 $t_w = 186^{\circ}\text{F}$, que se considera suficientemente exacto para obtener
los valores correctos de h_g y h_v mediante las ecuaciones (5) y
(6). Estos valores son $h_g = 677 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$ y $h_v = 1535$
 $\text{Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$. Luego substituyendo estos valores en la --
ecuación (4) se obtiene $U_1 = 470 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$.

El valor U_2 se calcula de la misma manera que en el
caso anterior sólo que se considera la temperatura final de la
solución con lo cual variará el valor de t_w y por consiguiente
los datos que de este valor derivan. Se supuso como primera -
aproximación una temperatura de la pared del serpentín $t_w = 210$
grados F, con la cual se obtuvieron $h_v = 2077 \text{ Btu/(Hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$
y $h_g = 800 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$, mediante los cuales se obtuvo un

que con las siguientes especificaciones) diám. ext. = 2" y ---
 H₂O = 12. El vapor usado tendrá una temperatura t_v = 228°F.
 y un calor latente de 960 Btu/lb. La temperatura inicial de
 la solución será de 59°F. Se supondrá que la temperatura del
 serpentín, como primera aproximación, sea de 190°F, obteniéndose
 así para la película de vapor un valor t_f = 192.5°F., y a su vez
 con este valor los de a = 60 lb/hr, a_f = 0.68 lb/hr y ---
 k = 0.4 Btu/hr-ft²(°F). Del lado de la solución se to-
 man los siguientes datos: D₂ = 13.95 ft, L = 9.85 ft, N = 1800
 R.P.H., e₂ = 62.5 lb/hr, e₂ = 2.87 lb/hr, e₂ = 190°F
 0.783 lb/hr, c = 0.886 Btu/lb(°C) y k = 0.343 Btu/hr
 (ft²/ft)(°C). Aplicando estos datos en las ecuaciones (2) y
 (6) se tiene que h_v = 1610 Btu/hr-ft²(°F) y h_e = 528 Btu/hr-
 (ft²/ft)(°F). Aplicando la ecuación (7) se obtiene un valor ---
 t_w = 186°F, que se considera suficientemente exacto para obtener
 los valores correctos de h_v y h_e mediante las ecuaciones (2) y
 (6). Estos valores son h_v = 677 Btu/hr-ft²(°F) y h_e = 1535
 Btu/hr-ft²(°F). Luego substituyendo estos valores en la
 ecuación (4) se obtiene U₁ = 470 Btu/hr-ft²(°F).
 El valor U₂ se calcula de la misma manera que en el
 caso anterior sólo que se considera la temperatura final de la
 solución con lo cual variará el valor de t_w y por consiguiente
 los datos que de este valor derivan. Se supone como primera
 aproximación una temperatura de la pared del serpentín t_w = 210
 grados F, con la cual se obtuvieron h_v = 2077 Btu/hr-ft²(°F)
 y h_e = 800 Btu/hr-ft²(°F), mediante los cuales se obtuvo un

valor de $t_w = 219^{\circ}\text{F}$ aplicando la ecuación (7), con este valor se calcularon los coeficientes de película cuyos valores se dan a continuación $h_v = 2650 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$ y $h_g = 890 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$ y a su vez con estos valores se obtuvo el de $U_2 = 668 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$.

Puede suponerse con pequeño error, el cual proporcionará un factor de seguridad, que el trazo de las variaciones de U para diferentes valores de Δ proporciona una línea recta por lo cual la ecuación (3) es directamente aplicada para los valores de U_1 y U_2 obtenidos anteriormente.

Resumiendo los datos que se tienen para calcular el área de calentamiento mediante la ecuación (3) se tiene que:

$$Q_T = 17,179,977 \text{ Btu.}$$

$$\theta = 2 \text{ hr.}$$

$$\Delta_1 = 28.56^{\circ}\text{F.}$$

$$\Delta_2 = 168.96^{\circ}\text{F.}$$

$$U_1 = 668 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$$

$$U_2 = 470 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$$

Substituyéndolos en la ecuación (3) se tiene:

$$\frac{17,179,977}{2} = A \frac{(668 \times 168.96) - (470 \times 28.56)}{2.3 \log \frac{668 \times 168.96}{470 \times 28.56}}$$

Despejando A se obtiene:

$$A = 185 \text{ ft}^2$$

o sea que se necesitan 355 ft. (108 m.) de tubería de cobre de 2".

valor de $t_w = 219^\circ F$ aplicando la ecuación (9), con este valor se calcularon los coeficientes de película cuyos valores se dan a continuación $h_v = 2650 \text{ Btu/hr-ft}^2(^\circ F)$ y $h_e = 890 \text{ Btu/hr-ft}^2(^\circ F)$ y a su vez con estos valores se obtuvo el de $U_2 = 668 \text{ Btu/hr-ft}^2(^\circ F)$.

Para suponerse con pequeño error, el cual proporcione un factor de seguridad, que el trazo de las variaciones de U para diferentes valores de Δ proporcione una línea recta por lo cual la ecuación (3) es directamente aplicada para los valores de U_1 y U_2 obtenidos anteriormente.

Resumiendo los datos que se tienen para calcular el área de calentamiento mediante la ecuación (3) se tiene que:

$$\begin{aligned}
 Q_T &= 17,179,977 \text{ Btu.} \\
 \theta &= 2 \text{ hr.} \\
 \Delta T_1 &= 28.56^\circ F. \\
 \Delta T_2 &= 168.96^\circ F. \\
 U_1 &= 668 \text{ Btu/hr-ft}^2(^\circ F) \\
 U_2 &= 470 \text{ Btu/hr-ft}^2(^\circ F)
 \end{aligned}$$

Substituyéndolos en la ecuación (3) se tiene:

$$\frac{17,179,977}{2} = A \frac{(668 \times 168.96) - (470 \times 28.56)}{2.3 \log \frac{668 \times 168.96}{470 \times 28.56}}$$

Despejando A se obtiene:

$$A = 187 \text{ ft}^2$$

o sea que se necesitan 375 ft. (108 m.) de tubería de cobre de

Tanque B

a).- Capacidad.

Como el tanque A, este tanque se calculará para aumentar los tanques D y E. La solución tendrá una concentración de 20% de caparrosa.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton.)
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.918
H_2O	11.672
Peso total de la carga	14.59

La densidad de la solución a la máxima temperatura a que se va a elevar es de 1.15 g/cc., por consiguiente, el volumen ocupado por la solución será de 12.687 m³. Para tener un margen de seguridad se considerará el volumen del tanque como de 12.86 m., o sean 3,410 gal.; las dimensiones para este tanque serán: diámetro = 2.61 m. y altura = 2.57 m. Este tanque, como el anterior, será de madera con duela de 2".

b).- Agitación.

El tipo de agitador será igual al del tanque anterior.

Para obtener la potencia se aplicó la ecuación (1) con los siguientes datos: L = 4.92 ft, W = 0.985 ft, H = 7.77 ft, D = 8.56 ft, $\rho_{59^\circ\text{F}} = 76 \text{ lb/ft}^3$, $\mu_{59^\circ\text{F}} = 0.0008 \text{ lb/(ft)(seg)}$, y N = 0.5 r.p.m.; resultando:

$L^2 N_s / z$	c	P
1,145,000	0.0000109	5.96

Tanque B

a) - Cálculos:

Como el tanque A, este tanque se diseñará para al-
mentar los tanques D y E. La solución tendrá una concentración
de 50% de espesante.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (ton.)
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	2.918
H_2O	11.678
Peso total de la carga	14.59

La densidad de la solución a la máxima temperatura
a que se va a elevar es de 1.15 g/cc., por consiguiente, el vo-
lumen ocupado por la solución será de 12.687 m³. Para tener
un margen de seguridad se considerará el volumen del tanque co-
mo de 15.00 m³, o sean 3.410 gal.; las dimensiones para este
tanque serán: diámetro = 2.61 m. y altura = 2.57 m. Este tan-
que, como el anterior, será de madera con guela de 2".

b) - Agitación.

El tipo de agitador será igual al del tanque ante-
rior.

Para obtener la potencia se aplicó la ecuación (1)
con las siguientes datos: $L = 4.92$ ft, $W = 0.965$ ft, $H = 7.77$ ft
 $D = 8.50$ ft, $\rho = 70$ lb/ft³, $\mu = 0.0008$ lb/(ft)(seg), y
 $N = 0.5$ r.p.m.; resultados:
Potencia = 1,145,000 0.000109 2.96

Para una eficiencia de 70% del sistema motor-agitador, la potencia del motor que mueva al agitador será de 8.5 hp.

c).- Transmisión de calor.

Para obtener el calor total que será necesario suministrar a la solución se aplica la ecuación (2) con los siguientes datos: $S = 14.59$ ton., $K = 20\%$, $C_{p_s} = 0.8$ Cal/(kg)(°C), --- $t_F = 93^\circ\text{C}$, $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $W = 50$ lb. $1_{93^\circ\text{C}} = 979.3$ Btu./lb. y ----- $C_{p_w} = 0.9995$ Cal/kg.°C; obteniéndose un valor:

$$Q_T = 4,070,000 \text{ Btu.}$$

Para el calentamiento se usará vapor saturado a --- 20 lb./in² con un calor latente de 960.1 Btu/lb, por lo que para proporcionar el calor indicado arriba se necesitarán 4,240 lb de vapor. Se usará un serpentín de cobre de 2" con un BWG = 12

tanques D y El área de calentamiento se obtiene siguiendo el -- mismo procedimiento que para el tanque A. Los datos obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) se resumen en la siguiente tabla:

t_v	t_s	t_w supuesta	h_v	h_s	t_w corregida	h_v	h_s	U
227.96	59	185	1635	522	186	1635	522	479
227.96	199.4	220	2840	620	223	2840	620	510

Substituyendo los siguientes datos en la ecuación -

(3):

$$Q_T = 4,070,000 \text{ Btu}$$

$$\theta = 1 \text{ hr.}$$

$$\Delta_1 = 28.56^\circ\text{F.}$$

Para una eficiencia de 70% del sistema motor-agita-
 dor, la potencia del motor que mueva el agitador será de 8.5 hp.
 c) -- Transmisión de calor.

Para obtener el calor total que será necesario sumi-
 nistrar a la solución se aplica la ecuación (2) con los siguien-
 tes datos: $S = 14.79 \text{ ton.}$, $K = 205$, $Cp_a = 0.8 \text{ Cal/(kg)(}^\circ\text{C)}$,
 $t_f = 93^\circ\text{C}$, $t_i = 15^\circ\text{C}$, $W = 50 \text{ lb.}$, $t_{30} = 97.3 \text{ Btu/lb.}$ y
 $Cp_w = 0.9995 \text{ Cal/kg.}^\circ\text{C}$; obteniéndose un valor:
 $Q_T = 4,070,000 \text{ Btu.}$

Para el calentamiento se usará vapor saturado a
 20 lb./in² con un calor latente de 960.1 Btu/lb., por lo que se
 proporcionará el calor indicado arriba se necesitarán 4,240 lb
 de vapor. Se usará un serpentín de cobre de 2" con un BWG = 12
 El área de calentamiento se obtiene estudiando el
 mismo procedimiento que para el tanque A. Los datos obtenidos
 de la aplicación de las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) se resu-
 men en la siguiente tabla:

t_v	t_a	t_w	h_v	h_a	t_w	h_v	h_a	U
227.96	92	185	1635	222	186	1635	222	479
227.96	199.4	250	2840	650	223	2840	650	710

Substituyendo los siguientes datos en la ecuación -

(3):

$$Q_T = 4,070,000 \text{ Btu}$$

$$\theta = 1 \text{ hr.}$$

$$\Delta t = 28.56^\circ\text{F.}$$

$$\Delta_2 = 168.96^{\circ}\text{F.}$$

$$U_1 = 510 \text{ Btu/}(\text{hr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$$

$$U_2 = 479 \text{ Btu/}(\text{gr})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F})$$

se tiene un valor de $A = 103.5 \text{ ft}^2$ que corresponde a una longitud de serpentín de 2" de 199 ft. (60.5 m.).

Tanque C

Como este tanque servirá para dos reactivos: ácido sulfúrico y clorato de sodio, los cálculos se basarán sobre --- aquel de ellos que se use más, o sea el ácido sulfúrico. Debido a la acción corrosiva de este ácido, el tanque será de fierro forrado de plomo.

a).- Capacidad.

Este tanque, como los anteriores, alimentará a los tanques D y E. La carga del tanque será de 2.062 ton. de ácido sulfúrico al 33.3%. La densidad de este ácido a una temperatura promedio de 50°C es de 1.22 g/cc., por consiguiente, el el volumen ocupado por esa carga será de 1.69 m^3 . Para tener margen de seguridad se considerará un volumen de 1.94 m^3 , o sean 440 gal., con las siguientes dimensiones: diámetro = 1.33 m. y altura = 1.44 m.

b).- Agitación.

El agitador será del mismo tipo que los anteriores, pero el material del que está hecho será de fierro forrado de plomo.

La potencia calculada con la ecuación (1) con los siguientes datos: $L = 2.16 \text{ ft}$, $W = 0.36 \text{ ft}$, $H = 3.94 \text{ ft}$, -----

$$\Delta_2 = 188.96 \text{ r.}$$

$$U_1 = 210 \text{ mm} \sqrt{h_1} \sqrt{r_2} \sqrt{r_1} \sqrt{r_2} \sqrt{r_1}$$

$$U_2 = 279 \text{ mm} \sqrt{h_2} \sqrt{r_2} \sqrt{r_1} \sqrt{r_2} \sqrt{r_1}$$

se tiene un valor de $\lambda = 103.7 \text{ r.}^2$ que corresponde a una longitud de onda de $2\lambda = 207.4 \text{ r.}$ (60.7 m.).

Tanque C

Como este tanque serviría para dos reactores: ácido sulfúrico y clorato de sodio, los cálculos se basarán sobre un nivel de ácido que se use más, o sea el ácido sulfúrico. Debe de ser la acción correctiva de este ácido, el tanque será de tipo pre forjado de plomo.

a). - Capacidad.

Este tanque, como los anteriores, alimentará a los tanques D y E. La carga del tanque será de 2.002 ton. de ácido sulfúrico al 33.3%. La densidad de este ácido a una temperatura promedio de 70°C es de 1.22 g/cc., por consiguiente, el volumen ocupado por esa carga será de 1.69 m^3 . Para tener margen de seguridad se considerará un volumen de 1.94 m^3 , o sea un 440 gal., con las siguientes dimensiones: diámetro = 1.33 m. y altura = 1.44 m.

b). - Agitación.

El agitador será del mismo tipo que los anteriores, pero el material del que está hecho será de fierro forjado de plomo.

La potencia calculada con la ecuación (1) con los siguientes datos: $L = 2.16 \text{ r.}$, $W = 0.36 \text{ r.}$, $H = 3.94 \text{ r.}$

$D = 4.36 \text{ ft}$, $s_{59^{\circ}\text{F}} = 78.66 \text{ lb/ft}^3$, $z_{59^{\circ}\text{F}} = 0.002688 \text{ lb/(ft)(seg)}$
y $N = 0.5 \text{ rps}$, proporciona:

L^2Ns/z	c	P
68,700	0.000027	0.633

Considerando la eficiencia del sistema motor-agitador de 70%, se necesitará un motor de 1 hp.

Tanque D

a).- Capacidad.

Este tanque tendrá cabida para los reactivos necesarios para producir 1.5 ton. de pigmentos azules tipo Milori y como además servirá para el lavado de éstos, la capacidad se calculará el doble de la necesaria para la 1.5 ton de Milori.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton.)
Sol $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (10%)	25.405
" $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20%)	7.295
" $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (30%)	2.312
" H_2SO_4 (33.3%)	1.031
" NaClO_3 (10%)	30.931
Peso total de la carga	36.974

Por lo anteriormente dicho, la capacidad será para una carga de 74 ton. de una suspensión cuya densidad se considera de 1 g/cc, por lo que el volumen ocupado por la carga será de 74 m^3 , o sean 18,700 gal. Para trabajar con un margen de seguridad, el tanque deberá tener una capacidad para 20,000 gal. Las dimensiones de este tanque serán: diámetro = 4.66 m. y altu

$D = 4.36 \text{ ft.} \quad \rho_{\text{sol}} = 78.66 \text{ lb/ft}^3 \quad \rho_{\text{air}} = 0.00288 \text{ lb/ft}^3 \text{ (seg)}$

y $N = 0.5 \text{ rpm}$, proporcionas:

$L^2 \text{W}^2$	e	P
68,700	0.000027	0.633

Considerando la eficiencia del sistema motor-eléctrico

de 70%, se necesitará un motor de 1 hp.

Tanque D

a) - Capacidad.

Este tanque tendrá cuba para los reactivos necesari

os para producir 1.5 ton. de pigmentos azules tipo Milori y

como además servirá para el lavado de éstos, la capacidad se

calculará el doble de la necesaria para la 1.5 ton de Milori.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton.)
Sol Na ₄ Fe(CN) ₆ · 10H ₂ O (10%)	25.405
" FeSO ₄ · 7H ₂ O (20%)	7.295
" (NH ₄) ₂ SO ₄ (30%)	2.315
" H ₂ SO ₄ (33.3%)	1.031
" NaClO ₃ (10%)	30.931
Peso total de la carga	36.974

Por lo anteriormente dicho, la capacidad será para una carga de 74 ton. de una suspensión cuya densidad se considere de 1 g/cc, por lo que el volumen ocupado por la carga será de 74 m³, o sean 18,700 gal. Para trabajar con un margen de seguridad, el tanque deberá tener una capacidad para 20,000 gal. las dimensiones de este tanque serán: diámetro = 4.66 m. y alti

ra = 4.44 m.

b).- Agitación.

Se usará un agitador de madera del mismo tipo que los anteriores. Substituyendo en la ecuación (1) los siguientes datos: $L = 7.22$ ft, $W = 0.985$ ft, $H = 7.1$ ft, $D = 15.3$ ft, $s_{77^{\circ}\text{F}} = 65.3$ lb/ft³, $z_{77^{\circ}\text{F}} = 0.00306$ lb/(ft)(seg) y $N = 0.5$ rps, se tiene:

L^2Ns/z	c	F
555,000	0.0000117	16.67

Con una eficiencia de 70% para el sistema motor-agitador, la potencia del motor será de 25 hp.

c).- Transmisión de calor.

Necesariamente durante el transporte de los reactivos hasta este tanque, éstos perderán parte del calor que les ha sido suministrado, por consiguiente, llegarán al tanque a una temperatura menor que la deseada (93°C), es pues necesario suministrar calor para elevar la temperatura hasta 93°C. Vamos a suponer, para tener margen de error que los reactivos al llegar al tanque tengan una temperatura de 70°C. El calor necesario para elevar la temperatura de la masa total de la suspensión estará dado por:

$$q_1 = S_a C_{p_s} (t_f - t_i)$$

en donde, $S_a = 36,043$ kg, $t_i = 70^{\circ}\text{C}$ y $t_f = 93^{\circ}\text{C}$; la capacidad calorífica de la suspensión es igual a la suma de las capacidades caloríficas de la solución y del precipitado. La capacidad calorífica de la solución es igual a $1 - K$, siendo K la con

12 = 4.44 m.

b) -- Agitación.

Se usará un agitador de madera del mismo tipo que los anteriores. Sustituyendo en la ecuación (1) los siguientes datos: $W = 7.22$ ft., $H = 0.985$ ft., $D = 15.3$ ft., $\rho_{\text{fl}} = 65.3$ lb/ft³, $\rho_{\text{sol}} = 0.00306$ lb/ft³ (seg) y $N = 0.5$ rpm se tienen:

$$P = 257,000 \text{ ft} \cdot \text{lb} / \text{min} = 16.67 \text{ hp}$$

Con una eficiencia de 70% para el sistema motor-agitador, la potencia del motor será de 23 hp.

c) -- Transmisión de calor.

Necesariamente durante el transporte de los reactivos hasta este tanque, éstos perderán parte del calor que les ha sido suministrado, por consiguiente, llegarán al tanque a una temperatura menor que la deseada (93°C), se pues necesario suministrar calor para elevar la temperatura hasta 93°C. Vamos a suponer, para tener margen de error que los reactivos al llegar al tanque tengan una temperatura de 70°C. El calor necesario para elevar la temperatura de la masa total de la sustancia está dado por:

$$Q = W C_p (t_2 - t_1)$$

en donde, $W = 36,043$ lb, $t_1 = 70^\circ\text{C}$ y $t_2 = 93^\circ\text{C}$; la capacidad calorífica de la suspensión es igual a la suma de las capacidades caloríficas de la solución y del precipitado. La capacidad calorífica de la solución es igual a $I - K$, siendo K la capacidad

centración de la substancia soluble e igual a 10.23%, por lo -- que la capacidad calorífica es de 0.8977 Cal/(kg)(°C). La capacidad calorífica del ferrocianuro ferroso-amónico, es obtenida aplicando la ley de Kopp, que dice: "La capacidad calorífica de un compuesto sólido es aproximadamente igual a la suma de las capacidades caloríficas de los elementos constituyentes". Por consiguiente el Cp del precipitado es de 0.4030 Cal/(kg)(°C). La suma de estos dos valores nos da $Cp_s = 1.3007 \text{ Cal/(kg)(°C)}$. Substituyendo todos los anteriores valores se tiene:

$$q_1 = (36 \times 0.43)(1.3007)(23)(3.968)$$

$$q_1 = 3,750,000 \text{ Btu.}$$

La digestión se va a llevar a cabo a 93°C durante una hora y se supone que van a evaporarse durante ese lapso de tiempo 5,000 lb. de agua; pero como debe mantenerse la concentración constante habrá necesidad de agregar 5,000 lb. de agua que se supondrá éste a una temperatura de 15°C. El calor necesario para evaporar las 5,000 lb. de agua y calentar la agregada desde 15 a 93°C, estará dado por:

$$q_2 = \Delta W l_{t_f} + \Delta W C_{pw} (t_f - T_1)$$

en donde: $\Delta W = 5,000 \text{ lb}$, $l_{93^\circ\text{C}} = 979.3 \text{ Btu/lb}$, $T_1 = 15^\circ\text{C}$, ----
 $t_f = 93^\circ\text{C}$ y $Cp_w = 0.9995 \text{ Cal/(kg)(°C)}$; substituyendo se tiene:

$$q_2 = (5,000)(979.3) + (2270)(0.9995)(78)(3.968)$$

$$q_2 = 5,671, 500 \text{ Btu.}$$

Este calor más el 10% de él que se considera por -- pérdidas debidas a la radiación, será la base para el cálculo del área de calentamiento.

...otom... ..

... ..

$$... = 2'000 \text{ gr}$$

$$... = (2'000 \text{ gr}) + (3'000 \text{ gr}) = 5'000 \text{ gr}$$

... ..

$$... = \sqrt{...} + \sqrt{...}$$

... ..

... ..

... ..

$$... = 2'000 \text{ gr}$$

$$... = (2'000 \text{ gr}) + (3'000 \text{ gr}) = 5'000 \text{ gr}$$

... ..

Después de esta hora de digestión se procede a la oxidación para después mantener la suspensión en digestión por media hora más, durante la cual se transmitirá la mitad del calor anterior, o sea:

$$q_3 = 2,835,750 \text{ Btu.}$$

El calor contenido en la suspensión al principio del proceso es:

$$q_s = (36,043)(1.307)(70 - 15)(3.968)$$

$$q_s = 10,200,000 \text{ Btu.}$$

De este calor se pierde el 10%, o sean: 1,020,000 Btu debido a la radiación, las cuales también hay necesidad de suministrar.

Teniendo en cuenta que el calor perdido por radiación es el 10% del calor total suministrado, se tiene que:

$$Q_T = (q_1 + q_2 + q_3)/0.9 + 0.1 q_s; \text{ ó}$$

$$Q_T = 14,639,166 \text{ Btu.}$$

A través del serpentín de bronce de 2", fluirá vapor saturado a 30 lb./in² de presión absoluta con un calor latente de condensación de 945.3 Btu/lb, del cual se necesitarán 15,500 lb para llevar a cabo el calentamiento. Como se van a transmitir 6,238,650 Btu/hr, el tiempo que durará el proceso será de 2.35 hr.

La cantidad de agua que se evaporará durante la media hora después de la oxidación se calculará mediante el siguiente balance de calor:

$$q_3/0.9 = 0Cp_o(t_f - T_1) + \Delta W_1 l_t^f + \Delta W_1 Cp_w(t_f - T_1)$$

$$(a) \qquad (b) \qquad (c)$$

Después de esta hora de digestión se procede a la oxidación para después mantener la suspensión en digestión por media hora más, durante la cual se transmitirá la mitad del calor anterior, es decir:

$$Q_2 = 2,535,750 \text{ Btu.}$$

El calor contenido en la suspensión al principio del proceso es:

$$Q_3 = (36,043)(1,307)(70 - 15)(3,968)$$

$$Q_3 = 10,200,000 \text{ Btu.}$$

De este calor se pierde el 10%, o sean: 1,020,000 Btu debido a la radiación, las cuales también hay necesidad de suministrar. Teniendo en cuenta que el calor perdido por radiación es el 10% del calor total suministrado, se tiene que:

$$Q_4 = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \times 0.1 = 1,020,000 \text{ Btu.}$$

A través del serpentín de bronce de 2", fluirán vapor saturado a 30 lb./in.² de presión absoluta con un calor latente de condensación de 945.3 Btu/lb., del cual se necesitarán 15,700 lb para llevar a cabo el calentamiento. Como se van a transmitir 6,238,650 Btu/hr., el tiempo que durará el proceso será de 2.35 hr.

La cantidad de agua que se evaporará durante la media hora después de la oxidación se calculará mediante el siguiente balance de calor:

$$Q_3 \times 0.9 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} + Q_{17} + Q_{18} + Q_{19} + Q_{20} + Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} + Q_{24} + Q_{25} + Q_{26} + Q_{27} + Q_{28} + Q_{29} + Q_{30} + Q_{31} + Q_{32} + Q_{33} + Q_{34} + Q_{35} + Q_{36} + Q_{37} + Q_{38} + Q_{39} + Q_{40} + Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{44} + Q_{45} + Q_{46} + Q_{47} + Q_{48} + Q_{49} + Q_{50} + Q_{51} + Q_{52} + Q_{53} + Q_{54} + Q_{55} + Q_{56} + Q_{57} + Q_{58} + Q_{59} + Q_{60} + Q_{61} + Q_{62} + Q_{63} + Q_{64} + Q_{65} + Q_{66} + Q_{67} + Q_{68} + Q_{69} + Q_{70} + Q_{71} + Q_{72} + Q_{73} + Q_{74} + Q_{75} + Q_{76} + Q_{77} + Q_{78} + Q_{79} + Q_{80} + Q_{81} + Q_{82} + Q_{83} + Q_{84} + Q_{85} + Q_{86} + Q_{87} + Q_{88} + Q_{89} + Q_{90} + Q_{91} + Q_{92} + Q_{93} + Q_{94} + Q_{95} + Q_{96} + Q_{97} + Q_{98} + Q_{99} + Q_{100}$$

en donde, $q_3/0.9$ es el calor transmitido durante la media hora en cuestión, (a) el calor necesario para calentar 1,861 kg. de solución oxidante desde la temperatura de 15°C . a la de 93°C , - (b) el calor necesario para evaporar ΔW_1 lb. de agua y (c) el calor necesario para calentar ΔW_1 lb. de agua agregada para -- reemplazar la evaporada. Substituyendo datos en el anterior -- balance y despejando ΔW_1 , se tiene:

$$\Delta W_1 = 2,300 \text{ lb de agua.}$$

Los coeficientes de película y el coeficiente total de transmisión de calor, obtenidos mediante las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) pueden ser leídos en la siguiente tabla:

t_v	t_s	t_w supuesta	h_v	h_s	t_w corregida	h_v	h_s	U
250.33	199.4	240	2550	355	244	2550	355	311

El área de calentamiento se obtiene aplicando la -- ecuación:

$$q_2/0.9 = U A (t_v - t_s) \quad (8)$$

en donde: $q_2/0.9 = 6,238,650 \text{ Btu/hr}$, $U = 311 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^{\circ}\text{F)}$, $t_v = 250.33^{\circ}\text{F}$ y $t_s = 199.4^{\circ}\text{F}$. Substituyendo estos datos y des-- pejando A, se tiene:

$$A = 394.5 \text{ ft}^2$$

lo que equivale a 755 ft (230 m) de tubería de bronce de 2".

d).- Lavado.

Como ya hemos dicho antes, el lavado de los pigmentos se lleva a cabo mediante decantaciones sucesivas, para lo -- cual el tanque cuenta con un tubo de bronce de 2", el cual me-- diante un acoplamiento especial puede moverse para colocarse --

en donde, $q_{\text{cond}} = 2,388$ es el calor transmitido durante la media hora en cuestión, (A) el calor necesario para calentar 1,861 kg. de solución oxidante desde la temperatura de 15°C . a la de 93°C . (b) el calor necesario para evaporar ΔW_1 lb. de agua y (c) el calor necesario para calentar ΔW_1 lb. de agua agregada para reemplazar la evaporada. Sustituyendo datos en el anterior balance y despejando ΔW_1 , se tienen:

$$\Delta W_1 = 2,300 \text{ lb de agua.}$$

Los coeficientes de película y el coeficiente total de transmisión de calor, obtenidos mediante las ecuaciones (a), (5), (6) y (7) pueden ser leídos en la siguiente tabla:

h_v	h_s	h_c	h_a	$h_{\text{correctada}}$	h_v	h_s	h_c	h_a	$h_{\text{correctada}}$
250.33	199.4	240	250.33	244	250.33	199.4	240	250.33	244

El área de calentamiento se obtiene aplicando la ecuación:

$$Q = U A (T_v - T_c) \quad (8)$$

en donde, $Q = 6,238,650$ Btu/hr., $U = 311$ Btu/(hr)(ft²)(°F), $T_v = 250.33^{\circ}\text{F}$ y $T_c = 199.4^{\circ}\text{F}$. Sustituyendo estos datos y despejando A , se tienen:

$$A = 394.2 \text{ ft}^2$$

Lo que equivale a 755 ft (230 m) de tubería de bronce de 2".

(d) - Lavado. Como ya hemos dicho antes, el lavado de los pigmentos se lleva a cabo mediante decantaciones sucesivas, para lo cual el tanque cuenta con un tubo de bronce de 2", el cual mediante un accesorio especial puede moverse para colocarse

siempre debajo del nivel del líquido que se desea eliminar.

Sabemos que la velocidad de sedimentación del Milori es de 0.003774 cm/seg., o sean 13.58 cm/hr. La profundidad de la suspensión es de 2.17 m. Se agregarán en cada lavado 9,350 galones de agua, se agitará la suspensión durante una hora y se dejará sedimentar el pigmento hasta 2.20 m. del fondo del tanque para lo cual son necesarias 16.2 hr. Todavía se dejará en reposo la suspensión durante 1/2 hora más para después proceder a la eliminación del agua de lavado, lo cual supondremos durará 2.5 hr. más. Estos lavados se repetirán durante otros 5 días, después de los cuales se habrá logrado eliminar aproximadamente el 98% de la materia soluble.

Tanque E

a).- Capacidad.

En este tanque se precipitarán 1.5 ton. de pigmentos azules tipo Chino y también servirá para el lavado de éstos, -- por consiguiente, la capacidad de este tanque se calculará como si en este tanque se fuera a precipitar doble cantidad de pigmentos.

Carga del Tanque

Material	Cantidad (Ton)
Sol $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (10%)	25.405
" $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20%)	7.295
" $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (30%)	2.542
" H_2SO_4 (33.3%)	1.031
" NaClO_3 (10%)	0.931

Peso total de la carga

37.204

Teniendo en cuenta que tanto la carga como la densidad de las suspensiones del Milori y Chino son prácticamente iguales, la capacidad del tanque en cuestión será también de 20,000 gal, siendo las dimensiones también iguales, es decir, $D = 4.66$ y $H = 4.44$ m.

b).- Agitación.

Agitador de madera del tipo ya descrito en los anteriores tanques. Los siguientes datos: $L = 7.22$ ft, $W = 0.985$ ft, $H = 7.1$ ft, $D = 15.3$ ft, $\rho_{77^{\circ}\text{F}} = 65.3$ lb/ft³, $N = 0.5$ rps y $\mu_{77^{\circ}\text{F}} = 0.00339$ lb/(ft)(seg), aplicados en la ecuación (1) dan:

L^2Ns/z	c	P
505,000	0.000011	22.5

Para una eficiencia del sistema motor-agitador de 70% se necesita un motor de 30 hp.

d).- Transmisión de calor.

La digestión de este pigmento se efectúa entre las temperaturas de $77 - 93^{\circ}\text{C}$, por lo que para el cálculo escogemos una temperatura de digestión de 85°C . Ahora bien, como los reactivos, debido a pérdidas de calor durante el transporte, llegarán a este tanque a 70°C , como también se supuso en el caso del tanque D, el calor necesario para elevar la temperatura de la masa total (36,273 kg.) hasta 85°C , estará dado por:

$$q_1 = S_a C_{p_s} (t_f - t_i)$$

El porcentaje de substancia soluble es de 10.35%, por lo que dicho líquido tiene una capacidad calorífica de ----

27-204

Para los 2 de la carga

Teniendo en cuenta que tanto la carga como la densidad de las suspensiones del Motor y Chasis son prácticamente iguales, la capacidad del tanque en cuestión será también de 20.000 gal, siendo las dimensiones también iguales, es decir, $D = 4.66$ y $H = 4.44$ m.

b) -- Agitador.

Agitador de madera del tipo ya descrito en los anteriores capítulos. Los siguientes datos: $L = 7.22$ ft, $W = 0.885$ ft, $H = 7.1$ ft, $D = 12.3$ ft, $V_{rot} = 65.3$ rpm, $N = 0.5$ rpm y $\rho_{rot} = 0.0039$ lb/(ft)³ (seg), aplicados en la ecuación (1) dan:

$$L^2 N^2 \rho = 0.000011 \quad 22.7$$

Para una eficiencia del sistema motor-agitador de 70% se necesita un motor de 30 hp.

c) -- Transmisión de calor.

La digestión de este pigmento se efectúa entre las temperaturas de $77 - 93^\circ C$, por lo que para el cálculo escogeremos una temperatura de digestión de $85^\circ C$. Ahora bien, como los reactivos, debido a pérdidas de calor durante el transporte, llegarán a este tanque a $70^\circ C$, como también se supone en el caso del tanque W, el calor necesario para elevar la temperatura de la masa total (36,273 kg.) hasta $85^\circ C$, estará dado por:

$$Q = S C_p (T_2 - T_1)$$

El peso de la sustancia soluble es de 10.37%, por lo que dicho líquido tiene una capacidad calorífica de ---

0.8965 Cal/(kg)(°C) y como la materia sólida en suspensión tiene una capacidad calorífica de 0.4030 Cal/(kg)(°C), entonces la capacidad calorífica de este sistema heterogéneo es de 1.2995 - Cal/(kg)(°C). Substituyendo datos en la ecuación de arriba se tiene:

$$q_1 = (36,273)(1.2995)(15)(3.968); \text{ ó}$$

$$q_1 = 2,780,000 \text{ Btu.}$$

Se supondrá que durante la digestión se evaporan -- 500 lb/hr., por consiguiente, para mantener el nivel constante en el tanque habrá necesidad de agregar 500 lb./hr. de agua, la cual estará a la temperatura de 15°C. El calor necesario para evaporar esas 500 lb/hr. y calentar las que las reemplazarán, será:

$$q_2 = \Delta W l_{tf} + \Delta W C_{p_w} (t_f - T_1) \quad \text{Btu/hr.}$$

El calor suministrado durante las 5 horas que dura la digestión será $5q_2$ Btu, o

$$5 [(500)(987 + (227)(0.9995)(70)(3.968)] ; \text{ ó}$$

$$2,782,500 \text{ Btu.}$$

El área de calentamiento se calculará tomando en -- cuenta q_2 más el 10% perdido por radiación, o sea:

$$q_2/0.9 = 618,333 \text{ Btu/hr.}$$

El calor perdido por radiación se considera como el 10% del calor total contenido y suministrado a la suspensión. - El calor total contenido en la suspensión a 85°C es:

$$q_s = S_a C_{p_s} (t_f - T_1); \text{ ó}$$

$$q_s = (36,273)(1.2995)(70)(3.968); \text{ ó}$$

0.8965 Cal\ (kg)\ (°C) y como la materia sólida en suspensión tie-
 ne una capacidad calorífica de 0.4030 Cal\ (kg)\ (°C), entonces la
 capacidad calorífica de este sistema heterogéneo es de 1.2995 -
 Cal\ (kg)\ (°C). Substituyendo datos en la ecuación de arriba se

tiene:

$$q_1 = (36,273)(1.2995)(15)(3.968); \delta$$

$$q_1 = 2,780,000 \text{ Btu.}$$

Se supondrá que durante la digestión se evaporan --
 500 lb/hr., por consiguiente, para mantener el nivel constante
 en el tanque habrá necesidad de agregar 500 lb/hr. de agua, la
 cual estará a la temperatura de 15°C. El calor necesario para
 evaporar esas 500 lb/hr. y calentar las que las reemplazarán, se

rá:

$$q_2 = \Delta W_{TL} + \Delta W_{CP} (T_1 - T_2) \text{ Btu/hr.}$$

El calor suministrado durante las 5 horas que dura la digestión
 será 50 Btu. o

$$5 \sqrt{(500)(987) + (227)(0.9995)(70)(3.9687); \delta}$$

$$2,782,500 \text{ Btu.}$$

El área de calentamiento se calculará tomando en --
 cuenta q₂ más el 10% perdido por radiación, o sea:

$$q_2 \sqrt{0.9} = 618,333 \text{ Btu/hr.}$$

El calor perdido por radiación se considera como el
 10% del calor total contenido y suministrado a la suspensión. --

El calor total contenido en la suspensión a 85°C es:

$$q_3 = 2 C_p (T_1 - T_2); \delta$$

$$q_3 = (36,273)(1.2995)(70)(3.968); \delta$$

$$q_s = 13,000,000 \text{ Btu.}$$

Como de este calor se pierde el 10%, se deberá agregar el calor perdido por este concepto para mantener la temperatura de 85°F, o sea:

$$0.1 q_s = 1,300,000 \text{ Btu.}$$

Resumiendo, el calor total suministrado a la suspensión sera:

$$Q_T = (q_1 + q_2)/0.9 + 0.1 q_s ; \text{ ó}$$

$$Q_T = 7,480,555 \text{ Btu.}$$

Para el calentamiento se usará vapor saturado a 20 lb/in² cuyo calor latente es de 960 Btu/lb, lo que supone un -- gasto de 7,800 lb. de vapor.

El valor del coeficiente total de transmisión de calor obtenido mediante las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) puede ser leído en la siguiente tabla:

t_v	t_s	t_w	h_v	h_s	t_w	h_v	h_s	U
		Supuesta			corregida			
227.96	185.0	210	2220	336	222	2725	336	300

El área de calentamiento es obtenida mediante la -- ecuación (8) con los siguientes datos: $q_2/0.9 = 618,333 \text{ Btu/hr}$, $U = 300 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$, $t_v = 227.96^\circ\text{F}$ y $t_s = 185^\circ\text{F}$. Despejando A de dicha ecuación se tiene:

$$A = (618,333)/(300)(42.96); \text{ ó}$$

$$A = 48 \text{ ft}^2.$$

Como para el calentamiento se usa un serpentín de -- bronce de 2", serán necesarios 92 ft (28 m.) de este serpentín.

$$q_2 = 13,000,000 \text{ Btu.}$$

Como de esta calor se pierde el 10%, se deberá extraer el calor perdido por este concepto para mantener la temperatura de 85°F. o sea:

$$0.1 q_2 = 1,300,000 \text{ Btu.}$$

Resumiendo, el calor total suministrado a la evaporación será:

$$Q_T = (q_1 + q_2) \times 0.9 + 0.1 q_2 ; \delta$$
$$Q_T = 7,480,555 \text{ Btu.}$$

Para el calentamiento se usará vapor saturado a 20 lb/in² cuyo calor latente es de 960 Btu/lb, lo que supone un gasto de 7,800 lb. de vapor.

El valor del coeficiente total de transmisión de calor obtenido mediante las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) puede ser leído en la siguiente tabla:

t_v	t_s	t_w	h_v	h_s	t_w	h_v	h_s	U
227.96	187.0	210	2220	336	222	2722	336	300
Supuesta								
correctada								

El área de calentamiento es obtenida mediante la ecuación (8) con los siguientes datos: $q = 7,480,555 \text{ Btu/hr.}$
 $U = 300 \text{ Btu/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F.)}$, $t_s = 227.96^\circ\text{F.}$ y $t_e = 187^\circ\text{F.}$ Despejando A de dicha ecuación se tiene:

$$A = (7,480,555) / (300)(42.96) ; \delta$$
$$A = 48 \text{ ft}^2.$$

Como para el calentamiento se usó un serpentín de bronce de 2" serán necesarios 92 ft (28 m.) de este serpentín de

d).- Lavado.

El lavado se verifica de manera idéntica que para el caso del Milori. La velocidad de sedimentación del azul Chino es de 0.01145 cm/seg., o sean: 41.22 cm/hr.; el nivel de la suspensión es de 2.19 m. Se agregarán en cada lavado 9,350 gal de agua y se agitará la suspensión durante una hora; se dejará sedimentar el pigmento hasta 2.20 m. del fondo del tanque, para lo cual son necesarias 5.4 hr. Se dejará en reposo durante 30 min. más y después se procederá a decantar el agua de lavado. Durante 6 días se repetirá esta operación hasta lograr eliminar el 98% de los sólidos solubles.

Tanque F y Tanque G

Estos dos tanques serán también de madera, de una capacidad de 20,000 gal y las siguientes dimensiones: diámetro = 4.66 y altura 4.44 metros. Se deberá construir con duelas de 2". El motor del agitador del tanque F deberá tener una potencia de 25 hp y el del tanque G de 30 hp.

Ninguno de estos tanques necesitará serpentín. Tan sólo deberá estar equipado con sistema para lavado por decantación.

En estos tanque se lavará el precipitado mientras en los tanques D y E se precipita otra carga, con lo cual la fabricación de los pigmentos seguirán un proceso continuo.

2.- Cálculo del Equipo de Filtración.

Para la eliminación del agua y de las sustancias solubles contenidas en las suspensiones se usarán filtros pren-

El lavado se verifica de manera idéntica que para el caso del Motor. La velocidad de sedimentación del agua es de 0.01147 cm/seg., o sea: 41.22 cm/hr.; el nivel de la suspensión es de 2.19 m. Se agitarán en cada lavado 9,350 gal de agua y se agitará la suspensión durante una hora; se dejará sedimentar el pigmento hasta 2.50 m. del fondo del tanque para lo cual son necesarias 5.4 hr. Se dejará en reposo durante 30 min. más y después se procederá a decantar el agua de lavado. Durante 6 días se repetirá esta operación hasta lograr eliminar el 98% de los sólidos solubles.

Tanque F y Tanque G

Estos dos tanques serán también de madera, de una capacidad de 20,000 gal y las siguientes dimensiones: diámetro = 4.66 y altura 4.44 metros. Se deberá construir con duelas de 2". El motor del agitador del tanque F deberá tener una potencia de 25 hp y el del tanque G de 30 hp.

Ninguno de estos tanques necesitará serpentín. Tan sólo deberá estar equipado con ataraxa para lavado por decantación.

En estos tanques se lavará el precipitado mientras en los tanques D y E se precipita otra carga, con lo cual la fabricación de los pigmentos seguirá un proceso continuo.

2.- Célula del Tipo de Filtración.

Para la eliminación del agua y de las sustancias solubles contenidas en las suspensiones se usarán filtros pres-

sas de madera del tipo de placas y marcos. Para cada tanque - lavador auxiliar funcionarán dos filtros prensas en batería, cada uno de ellos con las siguientes características: 10 ft de longitud, 40 placas de 32 x 32" y un área total de filtración de 370 ft².

Considerando un volumen específico de 0.0142 ft³/lb para el material con una humedad de 75% se tiene que el volumen total ocupado en cada filtro es de 15.65 ft³, de lo anterior se tiene que el espesor de la torta será de 0.51 in.

Cada filtro prensa tendrá una capacidad para 481 lb de pigmento con una humedad de 75%. La cantidad de filtrado obtenida es de 3,770 lb. con una densidad de 1 g/cc. y una viscosidad de 1.1 centipoises.

Por semejanza en tamaño de partículas se considerará la resistencia de la torta del pigmento azul igual a la que presentaría una de Fe₂O₃. Se filtrará a rapidez constante hasta que la presión se eleve a 50 lb/in², terminándose la filtración a presión constante. Se despreciará la resistencia del medio filtrante (lona). Por lo anterior:

$$k = (P^{1-s})(A^2)/(r'')(V)(z) = 652,000$$

Se puede tomar como tiempo de filtración a la velocidad constante el de 15 min, entonces el volumen filtrado durante ese período estará dado por la ecuación:

$$V_r^2 = k \theta_r \quad (9)$$

Substituyendo datos se obtiene:

$$V_r = 403.7 \text{ lb.}$$

La ecuación que nos da el tiempo total de filtración es:

$$\theta = \theta_r \frac{\left(\frac{V}{V_r}\right)^2 + 1}{2} \quad (10)$$

en donde V y θ son la cantidad de filtrado y el tiempo de filtración totales respectivamente. Por consiguiente:

$$\theta = 0.25 \frac{87.8 + 1}{2}$$

$$\theta = 11.1 \text{ hr.}$$

La rapidez de filtración al final de este tiempo, - está dada por la diferencial de (10).

$$dV/d\theta = V_r^2 / \theta_r V = 652,000/3,770 = 173 \text{ lb/hr}$$

lavando con 476 lb de agua, el tiempo de lavado estará dado - por:

$$\theta_w = (476)(4)/137$$

$$\theta_w = 10.9 \text{ hr.}$$

El tiempo total del proceso de filtración, será:

$$\theta_T = \theta + \theta_w + \theta_o \quad (11)$$

siendo θ_o el tiempo necesario para carga y descarga de los filtros prensas, el cual se puede tomar como 0.5 hr. Substituyendo datos en (11), se tiene:

$$\theta_T = 11.1 + 10.9 + 0.5$$

$$\theta_T = 22.5 \text{ hr.}$$

Para cada dos filtros prensas se necesitará una bomba para forzar la suspensión a través de ellos, dicha bomba tendrá un motor de 1/6 hp.

La ecuación que nos da el tiempo total de filtración es:

$$\theta = \theta_T \frac{(\frac{V}{V_T})^2 + 1}{2} \quad (10)$$

en donde θ es la cantidad de filtrado y el tiempo de filtración total respectivamente. Por consiguiente:

$$\theta = 0.27 \frac{87.8 + 1}{2}$$

$$\theta = 11.1 \text{ hr.}$$

La rapidez de filtración al final de este tiempo es:

está dada por la diferencial de (10).

$$dV/d\theta = \sqrt{2} \sqrt{V} = \sqrt{2} \sqrt{652,000} \sqrt{173} \text{ lb/hr.}$$

Y lavando con 476 lb de agua, el tiempo de lavado estará dado por:

$$\theta_w = (476)(4) \sqrt{173}$$

$$\theta_w = 10.9 \text{ hr.}$$

El tiempo total del proceso de filtración, será:

$$\theta_T = \theta + \theta_w + \theta_o \quad (11)$$

alrededor θ_o el tiempo necesario para cargar y descargar de los filtros prensa, el cual se puede tomar como 0.5 hr. Substituyendo

de datos en (11), se tiene:

$$\theta_T = 11.1 + 10.9 + 0.5$$

$$\theta_T = 22.5 \text{ hr.}$$

Para cada dos filtros prensa se necesitará una bomba para levantar la suspensión a través de ellos, dicha bomba tendrá un motor de 10 hp.

3.- Cálculo del Equipo de Secado.

El secador que se empleará para este proceso será de gabinete del tipo adiabático intermitente. El material húmedo será puesto en charolas, las que a su vez serán puestas entre los entrepaños de los carros, los cuales se introducirán al secador.

El secador se proyectará para una capacidad de media tonelada de pigmento seco por día de 24 hr. Se considerará -- que las tortas al salir de los filtros prensas llevan un espesor de media pulgada y una humedad de 75% (base húmeda) y se desea reducir ésta al 2% (base húmeda). Teniendo en cuenta esto, la cantidad de agua que se desea eliminar está dada por:

$$S (W_0 - W_1)$$

en donde, S son las libras de pigmento completamente seco, W_0 y W_1 son las libras de agua por libra de material seco al principio y fin del secado; substituyendo los datos, se tiene:

$$1102.5(3 - 0.02) = 3,285.5 \text{ lb. de agua.}$$

El secado se hará con aire caliente, cuyas condiciones a través del proceso son tabuladas a continuación:

Aire ambiente	Aire caliente	Aire a la salida del secador.
t_{s1} 73.4°F	t_{s2} 212°F	t_{s3} 102°F
t_{w1} 59°F	t_{w2} 93°F	t_{w3} 93°F
H_r 40%	H_0 0.007 lb/lb	H_r 70%
H_0 0.007 lb/lb		H_1 0.0315 lb/lb

La cantidad de aire necesario para el secado estará dada por el siguiente balance de agua:

3.- Cálculo del Equipo de Secado.

El secador que se empleará para este proceso será de gabinete del tipo adiabático intermitente. El material húmedo será puesto en charolas, las que a su vez serán puestas entre los entrepuños de los carros, los cuales se introducirán al secador.

El secador se proyectará para una capacidad de media tonelada de pigmento seco por día de 24 hr. Se considerará que las tortas al salir de los filtros prensa llevan un espesor de media pulgada y una humedad de 75% (base húmeda) y se desea reducir ésta al 2% (base húmeda). Teniendo en cuenta esta la cantidad de agua que se desea eliminar está dada por:

$$S (W_0 - W_1)$$

en donde, S son las libras de pigmento completamente seco; W_0 y W_1 son las libras de agua por libra de material seco al principio y fin del secado; substituyendo los datos, se tienen: $1102.5(3 - 0.02) = 3,287.5$ lb. de agua.

El secado se hará con aire caliente, cuyos condiciones se a través del proceso son tabuladas a continuación:

Aire ambiente	Aire caliente	Aire a la salida del secador.
$t_a = 73.4^{\circ}F$	$t_{s1} = 214^{\circ}F$	$t_{s3} = 102^{\circ}F$
$t_{w1} = 75^{\circ}F$	$t_{w2} = 93^{\circ}F$	$t_{w3} = 93^{\circ}F$
$H_a = 40\%$	$H_o = 0.007$ lb/lb H ₂ O	$H_r = 70\%$
$H_o = 0.007$ lb/lb H ₂ O		$H_1 = 0.0315$ lb/lb H ₂ O

La cantidad de aire necesario para el secado estará dada por el siguiente balance de agua:

$$S(W_0 - W_1) = G(H_1 - H_0)$$

$$(1) \qquad (2)$$

en donde (1) es el agua que se desea eliminar del pigmento y --
(2) el agua arrastrada por el aire, siendo G las libras de aire
seco y H_0 y H_1 las humedades absolutas del aire a la entrada y
salida del secador respectivamente. Por consiguiente:

$$G = \frac{3,285.5}{0.0315 - 0.007}$$

$$G = 134,100 \text{ lb. de aire seco}$$

Considerando el volumen húmedo del aire de secado -
de $13.6 \text{ ft}^3/\text{lb}_{\text{as}}$, obtenemos $1,823,760 \text{ ft}^3$ de aire a las condi--
ciones iniciales.

Cálculo del calor necesario para verificar el secado.

El calor necesario para el proceso es obtenido me--
diante un balance de calor, en donde Q_T es igual a la suma de -
los siguientes calores:

1.- Calor necesario para calentar el aire junto con su humedad
desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de salida --
del secador, dado por:

$$q_1 = Gs(t_{s3} - t_{s1})$$

en donde s es el calor húmedo en $\text{Btu}/\text{lb}_{\text{as}}$.

$$q_1 = 134,100 \times 0.249(102 - 73.4)$$

$$q_1 = 955,000 \text{ Btu.}$$

2.- Calor necesario para calentar el material sólido seco desde
la temperatura ambiente hasta la de salida del secador.

$$q_2 = SC_p(T_1 - T_a)$$

$$G(W_0 - W_1) = G(H_1 - H_0) \quad (1)$$

$$G = \frac{W_0 - W_1}{H_1 - H_0} \quad (2)$$

donde (1) es el agua que se debe eliminar del producto y (2) el agua evaporada por el aire, siendo G las libras de agua seco y H_1 las humedades absolutas del aire a la entrada y salida del secador respectivamente. Por consiguiente:

$$G = \frac{3.587.2}{0.0315 - 0.007}$$

$$G = 134,100 \text{ lb. de aire seco}$$

Considerando el volumen húmedo del aire de salida de 13.6 ft³/lb_a, obtenemos 1,823,760 ft³ de aire a las condiciones iniciales.

Cálculo del calor necesario para ventilar el secado.

El calor necesario para el proceso es obtenido mediante un balance de calor, en donde Q_1 es igual a la suma de las siguientes calores:

1.- Calor necesario para calentar el aire junto con su humedad desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de salida del secador, dado por:

$$Q_1 = Gc_p(t_2 - t_1)$$

en donde a es el calor húmedo en Btu/lb_a.

$$Q_1 = 134,100 \times 0.242(102 - 73.4)$$

$$Q_1 = 925,000 \text{ Btu.}$$

2.- Calor necesario para calentar el material sólido seco desde la temperatura ambiente hasta la de salida del secador.

$$Q_2 = SCp(T_2 - T_1)$$

en donde, C_p es el calor específico del material seco, T_a y T_1 son las temperaturas del material a la entrada y salida del secador.

$$q_2 = 1,102.5 \times 0.403(190 - 70)$$

$$q_2 = 53,300 \text{ Btu}$$

3.- Calor necesario para calentar el agua líquida que no va a ser evaporada desde la temperatura de entrada a la de salida del material:

$$q_3 = SW_1(T_1 - T_a)$$

$$q_3 = 1,102.5 \times 0.02(190 - 70) = 2,645 \text{ Btu}$$

4.- Calor necesario para calentar y evaporar el agua en el secador.

$$q_4 = S(W_0 - W_1) \left[(T_{ev} - T_a) + l_{T_{ev}} + 0.48(ts_3 - T_{ev}) \right]$$

en donde, T_{ev} es la temperatura promedio de evaporación, $l_{T_{ev}}$ el calor latente de evaporación a la temperatura anterior, 0.48 el calor específico del vapor de agua.

$$q_4 = 3285.5 \left[(150 - 70) + 990 + 0.49(102 - 150) \right]$$

$$q_4 = 3,435,000 \text{ Btu}$$

5.- Calor perdido por radiación y aquél para calentar el equipo es aproximadamente el 10% del calor total suministrado, es decir:

$$q_5 = 0.1 Q_T$$

De lo anterior se tiene que el calor total es:

$$Q_T = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{0.9} \text{ Btu}$$

$$Q_T = 4,939,938 \text{ Btu}$$

en donde, C_p es el calor específico del material seco, T_1 y T_2 son las temperaturas del material a la entrada y salida del secador.

$$Q_2 = 1,102.5 \times 0.403(190 - 70)$$

$$Q_2 = 53,300 \text{ Btu}$$

3.- Calor necesario para calentar el agua líquida que no va a ser evaporada desde la temperatura de entrada a la de salida del material:

$$Q_3 = SW(T_1 - T_2)$$

$$Q_3 = 1,102.5 \times 0.02(190 - 70) = 2,645 \text{ Btu}$$

4.- Calor necesario para calentar y evaporar el agua en el secador.

$$Q_4 = S(W_0 - W_1) \Delta T_{ev} + T_{ev} + 0.48(T_2 - T_{ev})$$

en donde, T_{ev} es la temperatura promedio de evaporación, el calor latente de evaporación a la temperatura anterior, 0.48 el calor específico del vapor de agua.

$$Q_4 = 3285.5 \sqrt{(170 - 70) + 290 + 0.48(190 - 170)}$$

$$Q_4 = 3,435,000 \text{ Btu}$$

5.- Calor perdido por radiación y fuga para calentar el equipo es aproximadamente el 10% del calor total suministrado, es decir:

$$Q_5 = 0.1 Q_T$$

De lo anterior se tiene que el calor total es:

$$Q_T = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{0.9} \text{ Btu}$$

$$Q_T = 4,232,938 \text{ Btu}$$

Cálculo del tiempo requerido para el secado y de las dimensiones del secador.

Del artículo de John R. Callaham, Modernizing Chemical Color Manufacture, publicado en el Chemical & Metalurgical Engineering de junio de 1943, podemos obtener los datos para estos cálculos. Basándonos en ese artículo podemos suponer que el tiempo de secado es de 22 hr, dejando 2 hr. para la descarga y carga del pigmento.

Como se necesitan 135,039 lb. de aire de una humedad absoluta de 0.007, el gasto en masa w es:

$$w = \frac{135,039}{22} = 6,140 \text{ lb/hr}$$

Para conocer el tiempo de secado θ_F en el período de rapidez decreciente, aplicamos la ecuación:

$$F + z_o(1 - f_o)/z - 1 = w(H_w - H)\theta/z \quad (12)$$

en donde z es el contenido real de agua en el secador en cualquier tiempo θ desde el principio del período, aplicando el índice o a las condiciones de la carga en el tiempo $\theta = 0$; H la humedad del aire a la entrada del secador y H_w la correspondiente a la temperatura de bulbo húmedo; F es una función de f y z , cuyo valor es sacado de la gráfica 224 de la pág. 679 del Principles of Chemical Engineering, Walker, conociendo el valor del producto fz , siendo:

$$f = f(G).c_o.a.S.y/w.z_o$$

como

$$f(G).c.o.a.S.y/w = \ln_e (H_w - H)/(H_w - H_o)$$

Cálculo del tiempo requerido para el secado y de las dimensiones del secador.

Del artículo de John H. Callahan, Modernizing Chemical Color Manufacture, publicado en el Chemical & Metallurgical Engineering de Junio de 1943, podemos obtener los datos para los cálculos. Basándonos en ese artículo podemos suponer que el tiempo de secado es de 22 hr, dejando 2 hr. para la descarga y carga del pigmento.

Como se necesitan 135,039 lb. de aire de una humedad absoluta de 0.007, el gasto en masa w es:

$$w = \frac{135,039}{22} = 6,140 \text{ lb/hr}$$

Para conocer el tiempo de secado θ en el período de rapidez decreciente, aplicamos la ecuación:

$$F + a(1 - F_0)^{1/2} - 1 = w(H_w - H_0) \quad (12)$$

en donde a es el contenido real de agua en el secador en cualquier tiempo θ desde el principio del período, aplicando el índice θ a las condiciones de la carga en el tiempo $\theta = 0$; H la humedad del aire a la entrada del secador y H_w la correspondiente a la temperatura de bulbo húmedo; F es una función de F_0 , cuyo valor es escudo de la gráfica 124 de la pág. 679 del Principles of Chemical Engineering, Walker, conociendo el valor del producto F_0 , siendo:

$$F = F_0 \cdot a \cdot S \cdot \sqrt{w \cdot z}$$

como

$$F_0 = a \cdot S \cdot \sqrt{w} = \ln \left(\frac{H_0 - H_w}{H - H_w} \right)$$

$$y \quad c/c_0 = z/z_0$$

se tiene que:

$$fz_0 = \ln_e (H_w - H)/(H_w - H_0) \quad (13)$$

Por lo que con este valor podemos obtener el F_0 de la gráfica anteriormente citada.

Ahora si se tiene en cuenta que:

$$fz_0/f_z = z_0/z \quad (14)$$

se obtiene fz leyendo el correspondiente valor de F en la gráfica.

Aplicando la ecuación (13):

$$fz_0 = 2.3 \log (0.034 - 0.007)/(0.034 - 0.032) = 2.615$$

por consiguiente, $F_0 = 0.014$

Como $z_0 = 1,212.75$ lb. de agua y $z = 22.05$ lb. de agua:

$$fz = (22.05)(2.615)/1212.75 = 0.0475$$

y:

$$F = 60.$$

Aplicando la ecuación (12) se tiene:

$$60 + (1212.75)(1 - 0.014)/22.05 - 1 = 6140 (0.027)\theta_F/22.05$$

despejando θ_F :

$$\theta_F = 113.2/7.5 = 15.1 \text{ hr.}$$

Para obtener el tiempo de secado en el período de rapidez constante, tendremos en consideración que:

$$\theta_T = \theta_F + \theta_C$$

por consiguiente:

$$\theta_C = 22 - 15.1 = 6.9 \text{ hr.}$$

$$y \text{ c/c}_0 = x/x_0$$

se tiene que:

(13)

$$t_{x_0} = \ln_e \left(\frac{H_w - H}{H_w - H_0} \right)$$

Por lo que con este valor podemos obtener el F_0 de

la gráfica anteriormente citada.

Ahora si se tiene en cuenta que:

(14)

$$t_{x_0} \sqrt{F_0} = x/x_0$$

se obtiene t_{x_0} leyendo el correspondiente valor de F_0 en la gráfica

ca.

Aplicando la ecuación (13):

$$t_{x_0} = 2.3 \log (0.034 - 0.007) / (0.034 - 0.032) = 2.615$$

por consiguiente, $F_0 = 0.014$

Como $x_0 = 1,212.75$ lb. de agua y $x = 22.05$ lb. de -

agua:

$$t_{x_0} = (22.05) / (2.615) \sqrt{1,212.75} = 0.0475$$

y:

$$F = 60.$$

Aplicando la ecuación (12) se tiene:

$$60 + (1,212.75)(1 - 0.014) \sqrt{22.05} - 1 = 6140 (0.027) e^{-\sqrt{22.05}}$$

despejando θ_T :

$$\theta_T = 113.2 \sqrt{7.5} = 15.1 \text{ hr.}$$

Para obtener el tiempo de secado en el periodo de -

regímenes constante, tendremos en consideración que:

$$\theta_T = \theta_p + \theta_c$$

por consiguiente:

$$\theta_c = 22 - 15.1 = 6.9 \text{ hr.}$$

Del artículo citado al principio de este inciso se tomaron los datos que nos permitirán calcular las dimensiones del secador:

Las dimensiones de los carros que soportan el pigmento son 6 x 5 x 2.5 ft., teniendo cada carro 20 entrepaños en cada uno de los cuales irán dos charolas, en las que a su vez en cada una de ellas irá la torta de un marco de los filtros prensas. El espacio libre entre charola y charola será de 3" y tomando en cuenta que el secador tendrá un cupo para 4 carros, las dimensiones del secador serán:

$$24.5 \times 5.5 \times 3 \text{ ft.}$$

por lo que la sección del secador tendrá 16.5 ft^2 .

Para un secador del tipo considerado la relación del área libre al área del secador es de 0.25 (Segundo Curso de Ingeniería Química, editado por la Escuela Nacional de Ciencias Químicas) de donde el área libre A_L por la cual circulará el aire será de 4.125 ft^2 .

Cálculo de la superficie del calentamiento del precalentador de aire.

El aire que se va a precalentar pasará a través de un banco de tubos horizontales de 1" en línea, arreglados en cuadro, siendo el espacio libre entre tubos la cuarta parte del diámetro. El vapor usado en el calentamiento será de 20 lb/in² de presión absoluta con una $T_v = 228^\circ\text{F}$ y un calor latente de 960 Btu/lb. Para efectuar el secado son necesarias 4,934,938 Btu, por lo que la cantidad de vapor será de 5,140 lb.

Del artículo citado al principio de este inciso se tomaron los datos que nos permitirán calcular las dimensiones del secador:

Las dimensiones de los canales que soportan el pigmento son $6 \times 2 \times 2.5$ ft., teniendo cada entre 20 entrepaños en cada uno de los cuales irán dos charolas, en las que a su vez en cada una de ellas irá la torta de un marco de las filtras prensas. El espacio libre entre charola y charola será de 3" y tomando en cuenta que el secador tendrá un cupo para 4 canales las dimensiones del secador serán:

$$24.5 \times 5.5 \times 3 \text{ ft.}$$

por lo que la sección del secador tendrá 16.5 ft.^2 .

Para un secador del tipo considerado la relación del área libre al área del secador es de 0.25 (Segundo Curso de Ingeniería Química, editado por la Escuela Nacional de Ciencias Químicas) de donde el área libre A_L por la cual circulará el aire será de 4.125 ft.^2 .

Cálculo de la superficie del calentamiento del precalentador de aire.

El aire que se va a precalentar pasará a través de un banco de tubos horizontales de 1" en línea, arreglados en cuadrado, siendo el espacio libre entre tubos la cuarta parte del diámetro. El vapor hecho en el calentamiento será de 20 lb./in.^2 de presión absoluta con una $T_v = 226^\circ \text{F}$ y un calor latente de 900 Btu/lb. Para efectuar el secado son necesarias $4.934,938 \text{ Btu}$, por lo que la cantidad de vapor será de $5,140 \text{ lb.}$

La superficie de calentamiento se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$q = U A (t_{s2} - t_{s1}) / 2.3 \log (T_v - t_{s1}) / (T_v - t_{s2}) \quad (15)$$

siendo:

q = calor transmitido por hora, Btu/hr.

T_v = temperatura del vapor saturado, °F.

A = área de calentamiento, ft²; y

U = coeficiente total de transmisión de calor, Btu/(hr)(ft²)(°F).

Como en este caso la resistencia térmica de la película de aire es el factor que controla la transmisión de calor, se considera $U = h_o$. El valor de h_o lo da la ecuación siguiente:

$$(h/cG)_o (cz/k)_o^{2/3} = (0.33/F_s) / (DG/z)_o^{1-n_o} \quad (16)$$

en donde:

c = calor específico medio del aire, Btu/(lb)(°F)

G = masa velocidad, lb/(hr)(ft²)

cz/k = número de Prandtl, sin dimensiones

DG/z = número de Reynolds, sin dimensiones

F_s = factor de seguridad, sin dimensiones

n_o = exponente sin dimensiones.

Hay un valor de G en el calentador con el cual la suma de los costos de potencia y cargas fijas da un mínimo. Este valor óptimo es obtenido aplicando la ecuación:

$$G_o = (0.267 Ca_o / Ce_o K_o')^{0.351} \quad (17)$$

en donde:

La superficie de calentamiento se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$F = U A (T_{s2} - T_{s1}) \log \left(\frac{T_v - T_{s1}}{T_v - T_{s2}} \right) \quad (17)$$

siendo:

- Q = calor transmitido por hora, Btu/hr.
- T_v = temperatura del vapor saturado, $^{\circ}F$.
- A = área de calentamiento, ft^2 ; y
- U = coeficiente total de transmisión de calor,

$$Btu/(hr)(ft^2)(^{\circ}F).$$

Como en este caso la resistencia térmica de la película de aire es el factor que controla la transmisión de calor, se considera $U = h_o$. El valor de h_o de la ecuación siguiente

$$h_o = 0.32 V_o^{0.8} = (0.32 V_o^{0.8}) \left(\frac{DG}{c} \right)^{1/4} \quad (18)$$

en donde:

- c = calor específico medio del aire, Btu/(lb)($^{\circ}F$)
- G = masa velocidad, lb/(hr)(ft^2)
- c_p/k = número de Prandtl, sin dimensiones
- DG/μ = número de Reynolds, sin dimensiones
- T_s = factor de seguridad, sin dimensiones
- n_o = exponente sin dimensiones.

Hay un valor de G en el calentador con el cual la suma de los costos de potencia y cargas fijas es un mínimo. Este

valor óptimo se obtiene aplicando la ecuación:

$$G_o = 0.267 C_p \sqrt{G_e} k^{0.321} \quad (19)$$

en donde:

Ca_o son las cargas fijas del aparato $\$/(\text{hr})(\text{ft}^2)$, basadas en el área de calentamiento externa.

Ce_o es el costo de la energía mecánica suministrada al fluido en $\$/(\text{ft})(\text{lb})$ para fluidos fuera de los tubos de calentamiento, y

$$K'_o = \frac{2 B_o a_o z_o^{m_o} y_o}{\pi g_c s_o^2 D D_o^{m_o}} \quad (18)$$

Para el aire a la temperatura promedio de 143°F , se tiene $c = 0.25 \text{ Btu}/(\text{lb})(^\circ\text{F})$, $z = 0.0459 \text{ lb}/(\text{hr})(\text{ft})$, $s_o = 0.66 \text{ lb}/\text{ft}^3$ y $C_p z/k = 0.74$. Aplicando la ecuación (18) considerando valores para $B_o = 1$, $a_o = 0.68$, $m_o = 0.15$ y con el tiempo en horas $g_c = 4.17 \times 10^8 \text{ ft}/\text{hr}^2$.

$$K'_o = \sqrt{2}(1)(0.68)(0.25)/3.14(4.17 \times 10^8)(0.066)^{2.7} (0.0459/0.0833)^{0.15}$$

$$K'_o = 2.735 \times 10^{-8}$$

Suponiendo que las cargas fijas anuales son de ---- $1.05 \text{ \$/ft}^2$, trabajando 7,200 horas se tiene:

$$Ca_o = 1.05/7200 = 1.46 \times 10^{-4} \text{ \$/}(\text{hr})(\text{ft}^2)$$

y que el costo de la energía mecánica sea de $0.04 \text{ \$/kwhr}$, se tiene:

$$Ce_o = (0.04)(0.746)/(33,000)(60) = 1.5 \times 10^{-8} \text{ \$/}(\text{ft})(\text{lb})$$

Aplicando la ecuación(17):

$$G_o = \sqrt{\frac{(0.267)(1.46 \times 10^{-4})}{(1.5 \times 10^{-8})(2.735 \times 10^{-8})}}^{0.351}$$

$$G_o = 7,070 \text{ lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$$

Aplicando la ecuación (16), considerando $F_s = 1.25$

y $n_o = 0.6$:

Ca₀ son las cargas fijas del agua $\$(hr)(ft^2)$, pasadas en el área de calentamiento exterior.

Co₀ es el costo de la energía mecánica suministrada al límite en $\$(ft)(lb)$ para flujos fuera de los tubos de calentamiento, y

$$K_0' = \frac{\sum H_0 a_0 z_0^m + \sum D_0^m}{\sum H_0 a_0 z_0^m + \sum D_0^m} \quad (18)$$

Para el aire a la temperatura promedio de 153°F, se tiene $c = 0.25 \text{ Btu}(lb)(F)$, $\alpha = 0.0459 \text{ lb}(hr)(ft)$, $a_0 = 0.66 \text{ lb}(ft^2)$ y $C_p \alpha k = 0.74$. Aplicando la ecuación (18) considerando valores para $H_0 = 1$, $a_0 = 0.68$, $m_0 = 0.15$ y con el tiempo en horas $G_0 = 4.17 \times 10^8 \text{ Ft}^2 \text{ hr}^2$.

$$K_0' = \sqrt{(1)(0.68)(0.25) \sqrt{3.14(4.17 \times 10^8)(0.66)^2} (0.0459)(0.74)} = 2.735 \times 10^{-8}$$

Suponiendo que las cargas fijas anuales son de 1.05 $\$(ft^2)$, trabajando 7,200 horas se tienen:

$$Ca_0 = 1.05 \sqrt{7200} = 1.46 \times 10^{-4} \text{ \$(hr)(ft^2)}$$

y que el costo de la energía mecánica sea de 0.04 $\$/kwhr$, se tienen:

$$Co_0 = (0.04)(0.746) \sqrt{(3,000)(60)} = 1.5 \times 10^{-8} \text{ \$(ft)(lb)}$$

Aplicando la ecuación (17):

$$G_0 = \sqrt{\frac{(0.267)(1.46 \times 10^{-4})}{(1.5 \times 10^{-8})(2.735 \times 10^{-8})}} = 0.351$$

$$G_0 = 7,070 \text{ lb}(hr)(ft^2)$$

Aplicando la ecuación (16), considerando $T_0 = 1.25$

$$v n_0 = 0.61$$

$(h_o/0.25 \times 7070)(0.818) = (0.33)(1.25)/(0.0833 \times 7070/0.0459)^{0.4}$
por consiguiente:

$$h_o = 12.95 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})$$

Substituyendo datos en la ecuación (15) para obtener el área de calentamiento:

$$224,500 = 12.95 A (212 - 73.4)/2.3 \log (228 - 73.4)/(228-212)$$

resultando:

$$A = 271 \text{ ft}^2$$

Cada tubo del secador tiene una longitud de 2 ft y un diámetro externo de 0.0833 ft, lo que hace un área por tubo de 0.523 ft^2 , por lo que se necesitan 519 tubos.

Como $w_o = 6,140 \text{ lb/hr}$ y la masa velocidad en el calentador es de $7,070 \text{ lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$, el área libre en el calentador es de 0.871 ft^2 y como el espacio libre entre tubos es de $0.25''$, se tiene que cada hilera tendrá 20 tubos y el calentador tendrá 26 hileras. Con estos datos se tiene un precalentador de las siguientes dimensiones: $31.25 \times 26.25 \times 24 \text{ in.}$

Cálculo de la potencia del abanico.

La potencia del abanico es dada por la expresión:

$$(\Delta P_o)(w_o)/(3,600)(550)(s_o) \tag{19}$$

en donde:

$$\Delta P_o = 4(F_o)(B_o)(N)(G_o^2)/2(g_c)(s_o) \tag{20}$$

en la cual:

$$f_o = a_o(z/DG)^{m_o} \tag{21}$$

En las anteriores ecuaciones:

B_o = factor de corrección, sin dimensiones.

$$0.03 \times 7070 (0.818) = (0.33) (1.25) (0.0833 \times 7070 (0.818)) \times 0.4$$

por constantes:

$$x_0 = 12.95 \text{ ft} \sqrt{h_0} (r_0) (r_0) (r_0)$$

Substituyendo datos en la ecuación (15) para obtener

el área de calentamiento:

$$224,500 = 12.95 A (212 - 73.4) \sqrt{2.3 \log (228 - 73.4)} \sqrt{228 - 212}$$

resultando:

$$A = 271 \text{ ft}^2$$

Cada tubo del secador tiene una longitud de 3 ft y un diámetro externo de 0.0833 ft, lo que hace un área por tubo de 0.213 ft², por lo que se necesitan 219 tubos.

Como $w_0 = 6,140 \text{ lb/hr}$ y la masa velocidad en el calentador es de $7,070 \text{ lb/hr}$ (ft²), el área libre en el calentador es de 0.891 ft² y como el espacio libre entre tubos es de 0.25", se tiene que cada hilera tendrá 20 tubos y el calentador tendrá 26 hileras. Con estos datos se tiene un precalentador de las siguientes dimensiones: 31.25 x 26.25 x 24 in.

Cálculo de la potencia del abanico.

La potencia del abanico es dada por la expresión:

$$(\Delta P_0) (w_0) \sqrt{3,600} (250) (w_0)$$

en donde:

$$\Delta P_0 = 4 (F_0) (E_0) (N) (G_0) \sqrt{2} (E_0) (a_0)$$

en la cual:

$$F_0 = a_0 (V \Delta P_0)^{1/4}$$

en las anteriores ecuaciones:

H_0 = factor de corrección, sin dimensiones.

(19)

(20)

(21)

N = número de hileras.

a_0 = constante sin dimensiones e igual a 0.68

m_0 = exponente sin dimensiones e igual a 0.15 y

Δp_0 = caída de presión en lb/ft^2

Substituyendo valores en (21) se obtiene:

$$f_0 = (0.68)(1/12,800)^{0.15}$$

$$f_0 = 1.164$$

Substituyendo este valor en la ecuación (20) se tiene:

$$\Delta p_0 = 4(1.164)(1)(26)(707)^2/2(4.17 \times 10^8)(0.066)$$

$$\Delta p_0 = 94.3 \text{ lb/ft}^2.$$

Finalmente aplicando la ecuación (19) se obtiene -- una potencia teórica de 4.45 hp y si se considera una eficiencia total de 45%, la potencia del motor será de 10 hp.

4.- Cálculo de los molinos.

Este inciso no corresponde precisamente al cálculo del molino para los pigmentos secos, sino a la selección de éste entre diferentes tipos ofrecidos por los fabricantes de esta clase de aparatos.

Se escogió el Pulverizador Raymond No. 0000 operando en circuito cerrado con un Separador Mecánico de Aire de la misma marca. Este pulverizador tiene montados sobre la misma flecha del molino al abanico, rotor y regulador de fineza, lo que hace a este equipo muy compacto pues tan sólo ocupa 3 x 5 ft de espacio de piso.

El equipo completo incluye:

N = número de hilos.

α_0 = constante sin dimensiones e igual a 0.68

m_0 = exponente sin dimensiones e igual a 0.17 y

ΔP_0 = caída de presión en lb/ft²

Substituyendo valores en (21) se obtiene:

$$\Delta P_0 = (0.68)(1/12,800)^{0.17}$$

$$\Delta P_0 = 1.164$$

Substituyendo este valor en la ecuación (20) se tiene

que:

$$\Delta P_0 = 4(1.164)(1)(25)(707)^2(4.17 \times 10^8)(0.066)$$

$$\Delta P_0 = 94.3 \text{ lb/ft}^2$$

Finalmente aplicando la ecuación (19) se obtiene --

una potencia teórica de 4.45 hp y si se considera una eficiencia total de 45%, la potencia del motor será de 10 hp.

4. - Cálculo de los molinos.

Este inciso no corresponde precisamente al cálculo

del molino para los pigmentos azules, sino a la selección de éste entre diferentes tipos ofrecidos por las fabricantes de esta clase de aparatos.

Se escogió el Pulverizador Raymond No. 0000 operando en circuito cerrado con un Separador Mecánico de Aire de la misma marca. Este pulverizador tiene montados sobre la misma flecha del molino el abanico, rotor y regulador de finura, lo que hace a este equipo muy compacto pues tan sólo ocupa 3 x 5 ft de espacio de piso.

El equipo completo incluye:

- 1.- Alimentador automático.
- 2.- Pulverizador con motor de 10 hp.
- 3.- Abanico.
- 4.- Colector "Cyclone".
- 5.- Separador mecánico de aire con motor de 3 hp.
- 6.- Colector tubular de polvo.

La Fig. 5 muestra el arreglo en circuito cerrado. - Este arreglo tiene la ventaja de disminuir a un mínimo las pérdidas de producto. La capacidad de este molino para obtener un pigmento con una fineza de aproximadamente 100% a través de la malla 325, es de 80-100 kg/hr.

5.- Cálculo del equipo auxiliar.

a).- Transporte de los reactivos de los tanques A y B a los tanques de reacción D y E.

El bombeo de las soluciones se hará a través de una sola línea con conexiones para los cuatro tanques. Se necesitarán 16.33 m. de tubería. Los cálculos que siguen a continuación estarán basados en el tramo de mayor longitud o sean 13.27 metros, de los cuales 7.82 m. son de tubería de fierro de 5", - en los cuales hay una válvula de compuerta, una T que funciona como codo y un codo de 90°; y 5.82 m. de tubería de fierro de 4" en la cual hay una válvula de compuerta, una T funcionando como codo y un codo de 90°. A través de esta tubería se van a bombear 300 gal-Min de una solución con una densidad de 60.1 -- lb/ft³, una viscosidad de 0.74 lb/(ft)(hr) y una temperatura de 93°C. La diferencia de niveles entre los dos tanques se consi

- 1.- Alimentador automático.
- 2.- Pulverizador con motor de 10 hp.
- 3.- Aparato.
- 4.- Colector "Cyclona".
- 5.- Separador mecánico de aire con motor de 3 hp.
- 6.- Colector tubular de polvo.

La fig. 5 muestra el arreglo en circuito cerrado. Este arreglo tiene la ventaja de disminuir a un mínimo las pérdidas de producto. La capacidad de este molino para obtener un pigmento con una finura de aproximadamente 100 μ a través de la malla 325, es de 80-100 kg/hr.

5.- Cálculo del equipo auxiliar.

a).- Transporte de los recipientes de los tanques A y B a los tanques de reacción D y E.

El bombeo de las soluciones se hará a través de una sola línea con conexiones para los cuatro tanques. Se necesi-

tarán 16.33 m. de tubería. Los cálculos que siguen continúan con tuberías pasadas en el ramo de mayor longitud o sean 13.27 metros, de los cuales 7.82 m. son de tubería de hierro de 2", en los cuales hay una válvula de compuerta, una T que funciona como codo y un codo de 90°; y 5.45 m. de tubería de hierro de 4" en la cual hay una válvula de compuerta, una T funcionando como codo y un codo de 90°. A través de esta tubería se van a bombear 300 gal-min de una solución con una densidad de 60.1 lb/ft³, una viscosidad de 0.74 lb/(ft)(hr) y una temperatura de 93°C. La diferencia de niveles entre los dos tanques se consi-

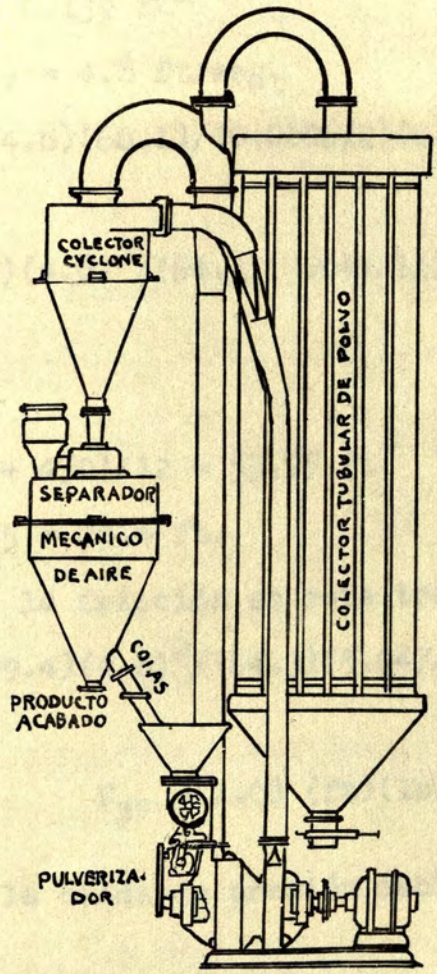


Fig. 5.

dera como de 4.60 m.

Cálculo de la caída de presión debida a la fricción en el tramo de 5":

$$q = (300)(0.1337)/(60) = 0.6685 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$S = 20.006/144 = 0.139 \text{ ft}^2$$

$$V_1 = 0.6685/0.139 = 4.8 \text{ ft/seg.}$$

$$Re = (5.047/12)(4.8)(60.1)/(0.000672)(0.306) = 590,000$$

$$f = 0.004$$

$$F_{5''} = 4(0.004)(N)(4.8)^2/(64.3)(5.047/12)$$

$$N = N_1 + Ne_1$$

$$N_1 = 25.65 \text{ ft}$$

$$Ne_1 = (160 + 35 + 450)/12 = 53.75 \text{ ft.}$$

$$N = 25.65 + 53.75 = 79.4 \text{ ft.}$$

por consiguiente la fricción en este tramo es:

$$F_{5''} = 4(0.004)(79.4)(4.8)^2/(64.3)(5.047/12)$$

o sea:

$$F_{5''} = 1.08 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

Cálculo de la caída de presión debida a la fricción en el tramo de 4":

$$V_2 = 4.8(5.047/4.026)^2 = 7.52 \text{ ft/seg.}$$

$$Re = (4.026/12)(7.52)(60.1)/(0.000672)(0.306) = 738,000$$

$$f = 0.0038$$

$$F_{4''} = 4(0.0038)(N)(7.52)^2/(64.3)(4.026/12)$$

$$N = N_2 + Ne_2$$

$$N_2 = 19.09 \text{ ft.}$$

$$Ne_2 = (128 + 28 + 360)/12 = 43 \text{ ft.}$$

éere con de 4.60 m.

Cálculo de la carga de presión debida a la fricción en el

tramo de 2^{na}:

$$d = (300)(0.1337)(60) = 0.6685 \text{ tr}^3/\text{seg.}$$

$$S = 20.0067144 = 0.139 \text{ tr}^2$$

$$V_1 = 0.6685 \times 0.139 = 4.8 \text{ tr}^3/\text{seg.}$$

$$Re = (2.04712)(4.8)(60.1) \sqrt{(0.00672)(0.306)} = 250,000$$

$$f = 0.004$$

$$F_{fr} = 4(0.004)(N)(4.8)^2 \sqrt{(64.3)(2.04712)}$$

$$N = N_1 + N_2$$

$$N_1 = 25.65 \text{ tr}$$

$$N_2 = (160 + 35 + 450) \sqrt{12} = 53.75 \text{ tr.}$$

$$N = 25.65 + 53.75 = 79.4 \text{ tr.}$$

por consiguiente la fricción en este tramo es:

$$F_{fr} = 4(0.004)(79.4)(4.8)^2 \sqrt{(64.3)(2.04712)}$$

o sea:

$$F_{fr} = 1.08 \text{ (tr)} \sqrt{12}$$

Cálculo de la carga de presión debida a la fricción en el

tramo de 4^{na}:

$$V_2 = 4.8(2.04712)(0.26) = 2.52 \text{ tr}^3/\text{seg.}$$

$$Re = (4.026712)(2.52)(60.1) \sqrt{(0.00672)(0.306)} = 238,000$$

$$f = 0.0038$$

$$F_{fr} = 4(0.0038)(N)(2.52)^2 \sqrt{(64.3)(4.026712)}$$

$$N = N_3 + N_4$$

$$N_3 = 19.02 \text{ tr.}$$

$$N_4 = (128 + 28 + 260) \sqrt{12} = 43 \text{ tr.}$$

$$N = 19.09 + 43 = 62.09 \text{ ft.}$$

de lo anterior la fricción en este tramo es:

$$F_{4''} = 4(0.0038)(62.09)(7.52)^2 / (64.3)(4.026/12)$$

$$F_{4''} = 2.47 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

De los resultados anteriores se tiene que la caída de presión debida a la fricción a lo largo de toda la tubería es:

$$F_t = F_{5''} + F_{4''}$$

$$F_t = 3.55 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

Cálculo de la potencia del motor de la bomba:

Se aplica el conocido teorema de Bernouilli:

$$X_0 + V_0^2/2g + P_0/s_0 + W = X_2 + V_2^2/2g + P_2/s_2 + F_t$$

en donde:

$$X_2 - X_0 = 15.09 \text{ ft (4.60 m.)}$$

$$V_0 = 0 \text{ y } V_2 = 7.52 \text{ ft/seg.}$$

$$F_t = 3.55 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

$$P_0 = P_2 \text{ (a la presión atmosférica)}$$

$$s_0 = s_2 = 60.1 \text{ lb/ft}^3$$

Substituyendo datos se tiene:

$$W = 15.09 + 0.879 + 3.55$$

$$W = 19.519 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

Considerando una eficiencia de 70% para el sistema motor-bomba se tiene que la potencia es:

$$(19.52)(0.6685)(60.1)/(550)(0.7)$$

$$6 \text{ 2.03 hp.}$$

$$W = 12.09 + 43 = 55.09 \text{ ft.}$$

de lo anterior la fricción en este tramo es:

$$F_{4u} = 4(0.0038)(55.09)(7.52)^2(64.3)(4.026 \times 10^{-3})$$

$$F_{4u} = 2.47 \text{ (ft)(lb)/lp}$$

De los resultados anteriores se tiene que la caída

de presión debida a la fricción a lo largo de toda la tubería -

es:

$$F_f = F_{2u} + F_{4u}$$

$$F_f = 3.25 \text{ (ft)(lb)/lp}$$

Cálculo de la potencia del motor de la bomba:

Se aplica el conocido teorema de Bernoulli:

$$X_0 + \frac{V_0^2}{2g} + p_0/a_0 + W = X_2 + \frac{V_2^2}{2g} + p_2/a_2 + F_f$$

en donde:

$$X_2 - X_0 = 12.09 \text{ ft (4.60 m.)}$$

$$V_0 = 0 \text{ y } V_2 = 7.52 \text{ ft/seg.}$$

$$F_f = 3.25 \text{ (ft)(lb)/lp}$$

$$p_0 = p_2 \text{ (a la presión atmosférica)}$$

$$a_0 = a_2 = 60.1 \text{ lb/ft}^2$$

Substituyendo datos se tiene:

$$W = 12.09 + 0.879 + 3.25$$

$$W = 16.219 \text{ (ft)(lb)/lp}$$

Considerando una eficiencia de 70% para el sistema

motor-bomba se tiene que la potencia es:

$$(16.219)(0.688)(60.1)(50)(0.7)$$

6.203 hp.

b).- Transporte de los reactivos del tanque C a los tanques D y E.

El bombeo se efectuará a través de una tubería de plomo de 1" que tendrá las siguientes conexiones: una válvula de globo, una T funcionando como codo y un codo de 90°. Los cálculos se harán para el bombeo del ácido sulfúrico (33.3%), el cual tiene una densidad de 80.49 lb/ft³ y una viscosidad de 3.99 centipoises. La longitud de la tubería será de 10 m. --- (32.8 ft.) y existirá una diferencia de niveles entre las secciones consideradas de 4.60 m. (15.09 ft). Se necesita un gasto en masa de 4,000 lb./hr.

Cálculo de la caída de presión debida a la fricción a lo largo de la tubería:

$$q = 0.0135 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$S = 0.00541 \text{ ft}^2.$$

$$V = 0.0135/0.00541 = 2.49 \text{ ft/seg.}$$

$$Re = (0.083)(2.49)(80.49)/0.002688 = 6,190$$

$$f = 0.0098$$

$$N = 32.8 + 8.72 = 41.52 \text{ ft}$$

por consiguiente:

$$F = 4(0.0098)(41.52)(2.49)^2/(64.3)(0.083) = 1.86 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

Cálculo de la potencia del motor de la bomba:

Aplicando el teorema de Bernouilli, tenemos:

$$W = X_2 - X_0 + (V_2)^2/2g + F$$

$$W = 15.09 + 0.947 + 1.86$$

$$W = 17.897 \text{ (ft)(lb)/lb}$$

d) - Transporte de los reactivos del tanque C a los tanques

D y E.

El bombeo se efectuará a través de una tubería de plomo de 1" que tendrá las siguientes conexiones: una válvula de globo, una T funcionando como codo y un codo de 90°. Las válvulas se harán para el bombeo del ácido sulfúrico (33-38) el cual tiene una densidad de 80.49 lb/ft³ y una viscosidad de 3.99 centipoises. La longitud de la tubería será de 10 m. (32.8 ft.) y existirá una diferencia de niveles entre las secciones consideradas de 4.60 m. (15.09 ft.). Se necesita un gas to en masa de 4,000 lb/hr.

Cálculo de la caída de presión debida a la fricción a la

largo de la tubería:

$$\rho = 0.0135 \text{ fr}^3/\text{seg}.$$

$$s = 0.00541 \text{ fr}^2.$$

$$V = 0.0135 \times 0.00541 = 2.49 \text{ fr}^2/\text{seg}.$$

$$Re = (0.083)(2.49)(80.49) \times 0.00541 = 6,190$$

$$f = 0.0098$$

$$N = 32.8 + 8.72 = 41.52 \text{ fr}$$

por consiguiente:

$$F = 4(0.0098)(41.52)(2.49)^2(80.49)(0.083) = 1.86 \text{ (fr)(lb)/hr}$$

Cálculo de la potencia del motor de la bomba:

Aplicando el teorema de Bernoulli, tenemos:

$$W = X_2 - X_0 + (V_2^2)/2g + F$$

$$W = 15.09 + 0.947 + 1.86$$

$$W = 17.897 \text{ (fr)(lb)/hr}$$

y considerando una eficiencia de 70% para el sistema motor-bomba se tiene una potencia de:

$$(17.897)(0.0135)(80.49)/(550)0.7)$$

ó 0.03 hp.

Como no existen motores de tal potencia, es preferible escoger una bomba de 10 gal/min para 20 ft, la cual necesitará un motor de 1/6 hp. La bomba deberá ser de un material resistente al ácido tal como bronce.

y considerando una eficiencia de 70% para el sistema motor-bom-
ba se tiene una potencia de:

$$(17.827)(0.0132)(80.49)(2500.7)$$

$$= 0.03 \text{ hp.}$$

Como no existen motores de tal potencia, es preferi-
ble escoger una bomba de 10 gal/min para 20 ft, la cual necesi-
tara un motor de 1/6 hp. La bomba deberá ser de un material
resistente al ácido tal como bronce.

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO

Para efectuar el estudio económico de este proyecto, dividiremos este capítulo en las siguientes partes:

- 1°.- Costos del equipo y edificios.
- 2°.- Costos de materia prima.
- 3°.- Costos de operación.
- 4°.- Costos de energía.
- 5°.- Cargas fijas.
- 6°.- Estudio económico.

----- 0 -----

1°).- Costos del equipo y edificios:

1 Tanque de madera con capacidad de 15,205 gal equipado con agitador y serpentín	\$ 4,200
1 Tanque de madera con capacidad de 3,410 gal, equipado con agitador y serpentín	2,350
1 Tanque de fierro forrado de plomo con capaci- dad de 440 gal, con agitador	500
1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador, serpentín y sistema - de lavado	7,900
1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador, serpentín y sistema - de lavado	3,000
1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador	2,000

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO

Para efectuar el estudio económico de este proyecto,

dividiremos este capítulo en las siguientes partes:

- 1°.- Costos del equipo y edificios.
- 2°.- Costos de materia prima.
- 3°.- Costos de operación.
- 4°.- Costos de energía.
- 5°.- Cargas fijas.
- 6°.- Estudio económico.

----- 0 -----

1°) Costos del equipo y edificios:

\$ 4,800	1 Tanque de madera con capacidad de 15,205 gal equipado con agitador y serpentín
2,350	1 Tanque de madera con capacidad de 3,410 gal, equipado con agitador y serpentín
500	1 Tanque de hierro forjado de plomo con capaci- dad de 440 gal, con agitador
7,900	1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador, serpentín y sistema de lavado
3,000	1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador, serpentín y sistema de lavado
2,000	1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador

1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal equipado con agitador	\$ 2,270.00
1 Filtro prensa	6,200.00
1 Bomba para filtro prensa con motor de 1/6 hp	250.00
1 Secador, incluyendo charolas, carros pre-ca- lentador y abanico	20,000.00
1 Pulverizador Raymond, No. 0000 completo e in- cluyendo un separador de aire de 30"	12,500.00
1 Bomba para 20 ft de altura con motor de 2 hp	1,200.00
1 Bomba para 10 ft de altura con motor de 1/6 (bronce resistente al ácido)	500.00
Tubería de fierro de 5, 4 y 3/4 de pulgada, -- con conexiones	600.00
Tubería de plomo de 1" con conexiones	130.00
Costo del equipo	<u>\$ 71,600.00</u>
10% sobre el costo del equipo por concepto de instalación	7,160.00
200 m ² de terreno a \$20.00 el m ²	4,000.00
150 m ² de construcción a \$150.00 el m ²	22,500.00
Capital invertido	<u>\$ 105,260.00</u>

2^o).- Costos de la materia prima:

847 kg. de ferrocianuro de sodio	\$ 1,481.00
487 kg. de caparrosa	66.00
232 kg. de sulfato de amonio	50.00
31 kg. de clorato de sodio	40.00

1 Tanque de madera con capacidad de 20,000 gal
equipado con agitador

\$ 2,570.00

1 Filtro prensa

6,200.00

1 Bomba para filtro prensa con motor de 1/2 hp

250.00

1 Sector, incluyendo chavetas, correa pre-ca-

20,000.00

lentador y abanico

1 Privetizador Raymond, No. 0000 completo e in-

12,500.00

cluyendo un separador de aire de 30"

1 Bomba para 20 ft de altura con motor de 2 hp

1,200.00

1 Bomba para 10 ft de altura con motor de 1/2

500.00

(promete resistente al ácido)

Tubería de hierro de 2", 4" y 3/4 de pulgada, --

600.00

con conexiones

Tubería de plomo de 1" con conexiones

130.00

Costo del equipo

\$ 71,600.00

10% sobre el costo del equipo por concepto de

7,160.00

instalación

200 m² de terreno a \$20.00 el m²

4,000.00

150 m² de construcción a \$150.00 el m²

22,500.00

Capital invertido

\$ 105,260.00

2^o) - Costos de la materia prima:

847 kg. de ferrocianuro de sodio

1,481.00

487 kg. de carbonos

66.00

435 kg. de sulfato de amonio

70.00

31 kg. de almidón de sodio

40.00

128 kg. de ácido sulfúrico comercial	\$ 31.00
Gasto total por día	\$ 1,668.00

3^o).- Costos de operación:

1 Ingeniero Químico, \$1,500.00 mensuales	\$ 18,000.00
1 Químico, \$1,000.00 mensuales	12,000.00
3 ayudantes, \$500.00 mensuales	18,000.00
9 obreros, \$200.00 mensuales	21,600.00
Gasto total anual	\$ 69,600.00

Suponiendo 300 días de trabajo al año, -

el costo por día de trabajo será: \$ 232.00

4^o).- Costos de energía:

1,731,000 kg. de vapor por año a \$0.004/kg. de vapor	\$ 6,924.00
2,238,000 Kw-hr a \$0.04/Kw-hr	89,600.00
Gasto total anual	\$ 96,524.00
Costo por día de trabajo	\$ 322.00

El capital total será la suma del invertido más el fluctuante, siendo este último el capital necesario para el costo de la materia prima durante un mes y el costo de energía y - operación durante tres meses:

Capital invertido	\$ 105,260.00
Materia prima, reserva para un mes	50,000.00
Reserva para cubrir tres meses de costos de operación y energía	49,860.00
Capital total	\$ 205,120.00

\$ 31.00
 \$ 1,668.00
 \$ 18,000.00
 12,000.00
 18,000.00
 21,600.00
 \$ 69,600.00
 \$ 232.00

128 kg. de ácido sulfúrico comercial
 Gasto total por día
 3) -- Costos de operación:
 1 Ingeniero Químico, \$1,500.00 mensuales
 1 Químico, \$1,000.00 mensuales
 3 ayudantes, \$500.00 mensuales
 2 operarios, \$200.00 mensuales
 Gasto total anual
 Suponiendo 300 días de trabajo al año, -
 el costo por día de trabajo será:

\$ 6,924.00
 89,600.00
 \$ 96,524.00
 \$ 322.00

4) -- Costos de energía:
 1,731,000 kg. de vapor por año a
 20.004/kg. de vapor
 2,238,000 Kw-hr a \$0.04/Kw-hr
 Gasto total anual
 Costo por día de trabajo

El capital total será la suma del invertido más el
 fluctuante, siendo este último el capital necesario para el cos
 to de la materia prima durante un mes y el costo de energía y -

\$ 105,250.00
 50,000.00
 \$ 49,860.00
 \$ 205,150.00

operación durante tres meses:
 Capital invertido
 Materia prima, reservas para un mes
 Reserva para cubrir tres meses de costos
 de operación y energía
 Capital total

5°).- Cargas fijas:

Seguros, 0.5% anual del capital invertido	\$ 1,026.00
Impuestos, 2.5% anual del capital invertido	10,260.00
Mantenimiento y reparaciones, 2% anual del capital invertido	4,103.00

Amortización:

$$a = c \frac{i (1 + i)^n}{(i + 1)^{n-1}}$$

en donde:

a = amortización

c = capital invertido

i = interés del capital (5%)

n = tiempo de amortización (10 años)

Substituyendo se tiene, amortización	\$ 14,360.00
Total de cargas fijas anuales	\$ 34,877.00
Cargas fijas por día	\$ 116.00

6°).- Costos generales e imprevistos:

Administración	\$ 8,000.00
Ventas	8,000.00
Imprevistos	20,000.00
Gasto total anual	\$ 36,000.00
Costos generales e imprevistos por día	\$ 120.00

7°).- Estudio edonómico:

La capacidad de la planta es de 0.5 tonelada de pigmentos azules de fierro por día de 24 hrs.; por lo que:

2°) -- Cargas fijas:

Seguros, 0.2% anual del capital invertido
 Impuestos, 2.5% anual del capital invertido
 Mantenimiento y reparaciones, 2% anual del
 capital invertido

Amortización:

$$a = c \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

en donde:

a = amortización

c = capital invertido

i = interés del capital (2%)

n = tiempo de amortización (10 años)

Substituyendo se tiene, amortización

Total de cargas fijas anuales

Cargas fijas por día

3°) -- Costos Generales e Imprevistos:

Administración

Ventas

Imprevistos

Gasto total anual

Costos Generales e Imprevistos

por día

4°) -- Estudio económico:

La capacidad de la planta es de 0.5 toneladas de pig-
 mentos azules de fierro por día de 24 hrs.; por lo que:

\$	14,360.00
\$	34,877.00
\$	116.00

\$	8,000.00
\$	8,000.00
\$	20,000.00
\$	36,000.00

\$	120.00
----	--------

\$	1,026.00
\$	10,260.00
\$	4,103.00

Costo de materia prima	\$ 1,668.00
Costo de operación	232.00
Costo de energía	322.00
Cargas fijas	116.00
Costos generales e imprevistos	120.00
TOTAL DE COSTOS POR DIA	<u>\$ 2,458.00</u>
TOTAL DE COSTOS POR TONELADA	<u>\$ 4,916.00</u>

Actualmente el precio de los pigmentos azules de --
fierro en el mercado es de \$8.00/kg, por lo que la

GANANCIA POR TONELADA \$ 3,084.00

y como trabajando normalmente la fábrica, anualmente se produci
rán 150 ton. de pigmentos, se tiene que la

GANANCIA ANUAL \$ 462,600.00

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFIA

Basándonos en los resultados obtenidos en el capítulo V, se puede concluir:

- 1° Que es conveniente el estudio y realización de este -- proyecto.
- 2° Que es aconsejable el estudio del aprovechamiento de la caparrosa obtenida como subproducto de la industria del fierro y del acero, para la fabricación de pigmentos de fierro de alta calidad.

B I B L I O G R A F I A

Libros:

- A.J. Allmand. "The Principles of Applied Electrochemistry". Edward Arnold & Co., 1931.
- W.L. Badger.- "Elements of Chemical Engineering". Mc Graw Hill, 1936.
- H.A. Gardner. "Paint Technology and Tests". Judd & Detweiler, - Inc., 1917.
- H.A. Gardner. "Paint Researches and their Practical Application" J. & D., 1917.
- F.H. Getman. "Outlines of Theoretical Chemistry". John Wiley & Sons, Sexta Edición.
- Hougen And Watson. "Industrial Chemical Calculations". John Wiley & Sons, Segunda Edición.
- J.J. Mattiello. "Protective and Decorative Coatings". Vols. II y IV. John Wiley & Sons, 1942.
- Mc Adams. "Heat Transmission". Mc Graw Hill, 1943.
- J.H. Perry. "Chemical Engineers' Handbook". Mc Graw Hill. 1941.
- E.R. Riegel. "Chemical Machinery". Reinhold Publishing Co. 1944.
- Maximilian Toch. "The Chemistry and Technology of Paints". ---- D. Van Nostrand Co., 1925.
- Ch. Tyler. "Chemical Engineering Economics". Mc Graw Hill. 1938.
- Ullman. "Enciclopedia Química Industrial". Gili. 1941.
- F.C. Vilbrandt. "Chemical Engineering Plant Design". Mc Graw -- Hill. 1942.
- W.H. Walker. "Principles of Chemical Engineering". Mc Graw Hill 1937.

B I B L I O G R A P H I A

Libras:

1937.

W.H. Walker. "Principles of Chemical Engineering". Mc Graw Hill
Hill, 1942.

F.C. Vildbrandt. "Chemical Engineering Plant Design". Mc Graw --
Hill, 1941.

Ullman. "Encyclopedia of Chemical Technology". Wiley, 1941.

Ch. Tyler. "Chemical Engineering Economics". Mc Graw Hill, 1938.

D. Van Nostrand Co., 1945.

Maximilian Toch. "The Chemistry and Technology of Plastics". ----
H.R. Riegel. "Chemical Machinery". Reinhold Publishing Co. 1944.

J.H. Perry. "Chemical Engineers' Handbook". Mc Graw Hill, 1941.

Mc Adams. "Heat Transmission". Mc Graw Hill, 1943.

V. IV. John Wiley & Sons, 1942.

J.G. Kesteloo. "Protective and Decorative Coatings". Vols. II
& Sons, Segunda Edición.

Hogben and Watson. "Industrial Chemical Calculations". John Wiley
& Sons, Sexta Edición.

T.H. German. "Outlines of Theoretical Chemistry". John Wiley &
Sons, 1917.

H.A. Gardner. "Paint Researches and their Practical Application"
Inc., 1917.

H.A. Gardner. "Paint Technology and Tests". Judd & Detweiler, -
1938.

W.L. Baygar. "Elements of Chemical Engineering". Mc Graw Hill,
Edward Arnold & Co., 1931.

A.J. Allmand. "The Principles of Applied Electrochemistry".
Libras:

Revistas y Catálogos:

"Chemical and Metallurgical Engineering"

"Industrial and Engineering Chemistry"

"Raymond Automatic Pulverizers with Air Separation". Catálogo -
No. 37 de la Raymond Pulverizer Division, Combustion Engineering
Company, Inc.

Yeomans Brothers Company, Chicago, Ill. Bulletin 1101-A.

Revisita y Catalogo:

"Chemical and Metallurgical Engineering"

"Industrial and Engineering Chemistry"

"Raymond Automatic Pulverizers with Air Separation". Catalogo -

No. 37 de la Raymond Pulverizer Division, Combustion Engineering

Company, Inc.

Yeomans Brothers Company, Chicago, Ill. Bulletin 1101-A.

FECHA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del vencimiento de préstamo señalado por el último sello.



