

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA PARA LA
FABRICACION DE RESINAS DE MELAMINA
FORMALDEHIDO A PARTIR DE PARAFORMALDEHIDO

275

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE INGENIERO QUIMICO PRESENTA

ALFONSO PEREZ CONTRERAS

MEXICO, D. F.

1974



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis 1974
CLAS
ASG M.L. **263**
FECHA
PRG

257
unt. 257



PRESDENTE: JULIO TERAN ZAVALA

VOCAL: EDUARDO ROJO Y DE REGIL

SECRETARIO: JOSE LUIS PADILLA DE ALBA

1er. SUPLENTE: FERNANDO TURBE HERMANN

2do. SUPLENTE: SUSANA FLORES DE CASTANEDA

Sitio donde se desarrollo el tema: BIBLIOTECA DE LA FACULTAD

Nombre completo y firma del sustentante: ALFONSO PEREZ CONTRERAS

Nombre y firma del asesor del tema: JOSE LUIS PADILLA DE ALBA

A MIS QUERIDOS PADRES ALFONSO Y LUZ MARIA

..... con inmenso cariño y gratitud
por sus esfuerzos para que yo haya realizado
esta meta

A MI QUERIDA ESPOSA MARY

..... con gran amor

por su apoyo en este trabajo.

A MIS QUERIDOS HIJOS ALFONSO Y EDUARDO

..... que les pueda servir como

ejemplo de un logro de la vida

A MIS HERMANOS LUZ MARIA, ALBERTO, OCTAVIO,
BERTHA, RAMON, MARIA LUISA Y GERARDO

..... con gran cariño

AL ING. JOSE LUIS PADILLA

..... por su amable cooperación

A TODOS MIS TIOS

..... en especial a dos tias

A MIS PROFESORES

A MI FACULTAD DE QUIMICA

A MIS BUENOS AMIGOS

I N D I C E

CAPITULO I.-	-----	Pag 1
Introducción		
CAPITULO II.-	-----	Pag 3
Conclusiones y recomendaciones		
CAPITULO III.-	-----	Pag 5
Generalidades sobre policondensación de resinas de melamina formaldehido		
CAPITULO IV.-	-----	Pag 26
Aplicaciones y usos de las resinas de melamina forma formaldehido		
CAPITULO V.-	-----	Pag 29
→ Control de calidad de materias primas del pro- ceso		
CAPITULO VI.-	-----	Pag 34
↪ Experiencias y condiciones del proceso		
CAPITULO VII.-	-----	Pag 42
Análisis de mercado y capacidad de la planta		
CAPITULO VIII.-	-----	Pag 50
→ Características de operación de la planta		
CAPITULO IX.-	-----	Pag 63
→ Cálculo del equipo de proceso		
CAPITULO X.-	-----	Pag 107
Estudio económico		
BIBLIOGRAFIA.	-----	Pag 119

CAPITULO I

INTRODUCCION

Uno de los más importantes materiales obtenidos a -- partir de productos de policondensación que han tenido un gran auge en los últimos veinticinco años, son las resinas melaminicas o de melamina formaldehído, que por sí mismas han ganado una posición de considerable importancia en una gran variedad de aplicaciones industriales.

Estas resinas caracterizadas como resinas termofijas nitrogenadas, son importantes por su habilidad para formar productos -- duros, brillantes, incoloros y resistentes químicamente, bajo la conversión por la influencia del calor o de catalizadores apropiados, ó -- generalmente de una combinación de los dos factores. Son asimismo clasificadas como materiales de rápido curado y son muy sensibles a pequeños cambios de temperatura y concentración de catalizador.

Este tipo de resinas tiene una gran afinidad con -- otro tipo de resinas, por lo que se pueden modificar para obtener una gran variedad de productos combinados.

Los productos de la reacción de la melamina con el -- formaldehído son llamados aminoplastos o aminoresinas.

La melamina que tiene su funcionalidad arriba de -- tres, al reaccionar con el formaldehído, dá moléculas que crecen en -- más de una dirección, con lo que se obtiene un polímero de tres dimen-

siones que es termofijo e insoluble.

Las variaciones en concentración de reactivos, de catalizadores, de temperaturas, de tiempos de reacción y de pH, permiten obtener diferentes grados de polimerización, que se pueden seleccionar de acuerdo al uso final a que se destine la resina; pudiendo -- hacer también un bloqueo químico temporal inactivando los grupos reactivos, para posteriormente reactivarlos con otros productos, y obtener diferentes propiedades.

El presente anteproyecto tiene por objeto el estudio de la fabricación de resinas de melamina formaldehído que serán usadas en la elaboración de recubrimientos orgánicos, obteniéndose el polímero en solución con un solvente orgánico.

Las características que imparten este tipo de resinas melamínicas a los esmaltes horneados formulados con ellas, dejan observar un amplio futuro para su uso, ya que día con día la demanda de mejores materiales para estos esmaltes, exigen de las particulares propiedades dadas por estas resinas.

Con base en estas consideraciones es desarrollado el siguiente anteproyecto, que cubrirá como se mencionó anteriormente las necesidades de la resina para la fabricación de recubrimientos orgánicos.

CAPITULO II

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La creciente demanda día a día de recubrimientos a base de resinas de melamina formaldehído, con las cuales se obtienen propiedades exelentes en durabilidad y acabado, ha hecho que la producción de estas resinas se incremente cada año para satisfacer las necesidades del mercado nacional.

La fabricación de recubrimientos y esmaltes para la industria doméstica y automotriz a base de estas resinas, aseguran un amplio consumo de las mismas, marcado por un índice estable y seguro del crecimiento en el mercado.

El proceso descrito indica claramente la facilidad de operación para obtener las resinas de melamina formaldehído en solución, usando en este caso como solvente n-butanol. Dicho proceso no presenta ninguna dificultad para poder instalar la planta y empezar a trabajar.

Con respecto a los costos y ventajas que se obtienen del estudio económico y del diseño del equipo, considerando satisfacer el mercado para 1978, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1.- Que la planta en su inicio de operaciones empezará a tener una utilidad aceptable.
- 2.- La planta podrá operar sin perdidas trabajando -

arriba del 73% de su capacidad.

3.- Al ir aumentando su capacidad, que en el año de 1978 será de 100%, la planta irá aumentando sus ganancias, por lo que la recuperación de capital de acuerdo a los datos obtenidos, se podrá hacer en un tiempo de aproximadamente 3 años y medio.

4.- Además de la fabricación de las resinas de melamina formaldehído para aplicarse en recubrimientos y esmaltes, como se presenta en este estudio, estas resinas también tienen aplicación en otro tipo de acabados, por lo que se asegura su consumo pudiéndose -- aplicar en otro tipo de materiales, siendo recomendable en este caso hacer un estudio de mercado para otros usos como pueden ser, laminados, adhesivos, tintas, etc.

5.- El equipo diseñado, puede ser usado con pequeñas modificaciones, para fabricar otro tipo de resinas como son las de -- urea formaldehído, fenol formaldehído, etc. con lo que en un momento -- dado se puede tener la opción de mantener o mejorar las utilidades diversificando el uso de la planta, por lo que es recomendable una vez -- que la planta este trabajando, elaborar un estudio para determinar con que inversión se puede cambiar el tipo de fabricación para obtener una determinada cantidad de lotes del producto nuevo, y posteriormente vol ver a su producción normal.

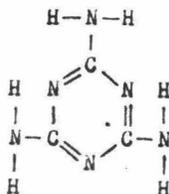
CAPITULO III

GENERALIDADES SOBRE POLICONDENSACION DE RESINAS

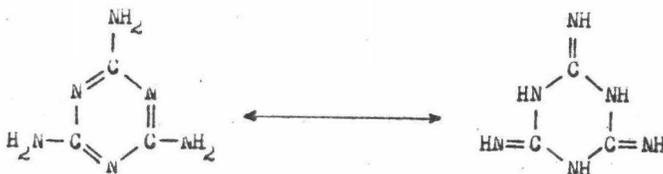
DE MELAMINA FORMALDEHIDO

A.- MATERIAS PRIMAS.

1.- Melamina. La melamina es un compuesto orgánico - obtenido principalmente de la cianamida de calcio, es un compuesto muy resistente a la hidrólisis y tiene muy buena estabilidad al calor; su estructura es la siguiente:



La melamina cuyo nombre químico es 2,4,6, triamino - 1,3,5, triazina es un compuesto cuya estructura triamino triazina es - la más aceptada, pero sin embargo existe la posibilidad de un equilibrio con el tautómero imino como se ilustra en la siguiente estructura.



La característica principal de la melamina consiste en que es hexafuncional, por lo que exhibe una máxima funcionalidad de seis hacia compuestos como el formaldehído. Todos los átomos de hidrógeno de los grupos amino son químicamente reactivos, por lo que se observa que es un compuesto que permite el crecimiento de moléculas en diferentes direcciones.

2.- Formaldehído y Paraformaldehído. Estos compuestos obtenidos de derivados del petróleo, son generalmente encontrados en solución acuosa. En el caso del formaldehído, este es identificado como un metilén glicol, HOCH_2OH , que tiene una funcionalidad de dos. El formaldehído llamado también formalina, se encuentra casi siempre en solución acuosa al 37% en peso. En el mercado lo hay en dos variedades: cuando es estabilizado con metanol y cuando está libre de metanol. El primero contiene alrededor de 7% de metanol y puede ser almacenado a temperatura ambiente; el otro contiene menos que 2% de metanol y debe ser almacenado a 32°C , o ligeramente arriba para prevenir precipitación de polímeros del formaldehído. También pueden encontrarse soluciones de formaldehído a altas concentraciones para usos especiales.

El paraformaldehído es una mezcla de polioximetilén glicoles, $\text{HO}-(\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$, variando n en el rango de 8 a 100. Comercialmente se encuentra el paraformaldehído en polvo (95%) como en escamas (91%). El paraformaldehído por su naturaleza es un polímero inestable que reacciona substancialmente en la misma forma que el formaldehído.

Es muy importante hacer notar que el paraformaldehído se usa en la fabricación de resinas cuando se quiere evitar la presencia de una gran cantidad de agua.

B.- QUÍMICA DE LA REACCIÓN.

En las reacciones de policondensación al reaccionar grupos que tienen su funcionalidad arriba de tres con otros grupos producen moléculas cuya representación puede ser en la siguiente forma:



Las resinas de melamina-formaldehído son formadas por reacciones entre el hidrógeno de los grupos amino de la melamina que es hexafuncional y los grupos hidroxilo del formaldehído hidratado que es bifuncional, por lo que se producen moléculas como la mostrada anteriormente.

El mecanismo general de éstas resinas consiste en los siguientes tres pasos de reacción:

Paso A.- Formación de compuestos de metilol o paso de condensación. Aquí se exhibe la máxima funcionalidad de seis, por lo que pueden ser introducidos hasta seis grupos metilol.

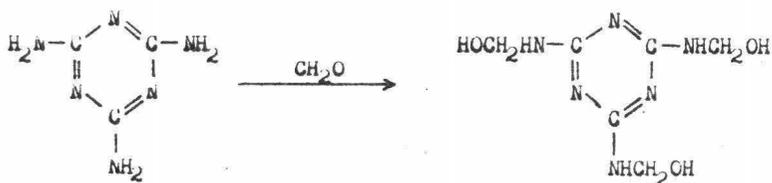
Paso B.- etapa intermedia de policondensación en donde se obtiene una resina soluble o dispersable en agua u otros solventes orgánicos. Esta resina es indudablemente de tipo lineal con posi-

bles ramificaciones.

Paso C.- Este paso es alcanzado durante la operación de curado térmico, aquí se provoca una completa condensación de los hidrógenos amino, formando una malla tridimensional de grupos metileno ligando las moléculas de melamina entre sí, dando como resultado productos infusibles, insolubles y duros. Estas moléculas son consideradas como complejas.

Como se observa en los pasos de reacción anteriores, la obtención de los primeros compuestos de la reacción esta constituido por derivados metilolados.

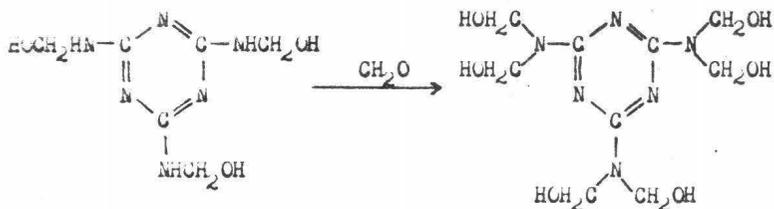
La trimetilolmelamina y hexametilolmelamina pueden ser obtenidos, pero hay en primer lugar la formación de trimetilolmelamina o sea la introducción de tres grupos metilol ilustrados en la siguiente reacción:



Trimetilolmelamina.

Cuando todos los átomos de hidrógeno químicamente reactivos de la melamina reaccionan con el formaldehído se obtiene un compuesto saturado de metiloles que es la hexametilolmelamina ilustrado en seguida; por lo que es posible por ésta razón sospechar la pre-

sencia del tautómero imino como se mostró previamente:



Hexametilolmelamina.

También pueden ser preparados de acuerdo a las condi ciones de reacción pero siendo menos importantes la di, tetra y penta- metilolmelaminas.

Considerando ampliamente este tipo de reacciones de condensación pueden ser referidas como una adición, metilolación o hidroxi metilación y pueden ser llevadas a cabo bajo condiciones neutras o alcalinas; por lo que las condiciones de reacción pueden ser manteni das cuidadosamente con el control del pH. Estas reacciones son muy -- sensitivas a pequeñas variaciones en el pH.

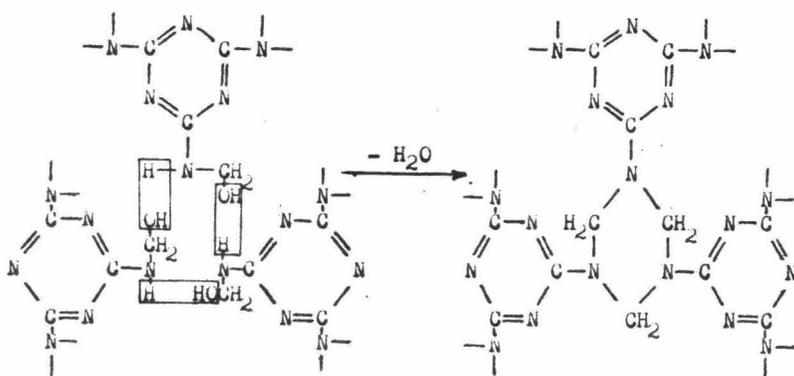
Algunas veces son usadas pequeñas cantidades de áci- do para controlar el curso de la reacción.

Los metilol derivados son la base de productos subse- cuentes de condensación y pueden ser considerados como las unidades mo- noméricas de los respectivos sistemas poliméricos.

La reacción en si incluye la formación de grandes mo

lécúlas a partir de estos metilolderivados.

Debido al gran número de grupos funcionales de los metilolderivados de la melamina, estos polimerizan rápidamente formando un polímero entrecruzado como se ilustra en seguida:



En esta forma, el tipo de polímero obtenido y el tamaño de las moléculas depende de las condiciones a las cuales sea llevada la reacción.

Los productos iniciales de la condensación del formaldehído con la melamina pueden ser separados y algunos de ellos son obtenidos comercialmente sirviendo como intermedios para posteriores -

síntesis de polímeros.

Se puede hacer notar que la alta funcionalidad de la melamina hacia el formaldehído es sin duda responsable del rápido curado, gran dureza, y también siendo la resina resultante más quebradiza.

Los factores más importantes que afectan el tipo de resina producida son:

- 1) Tipo de amina reactante.
- 2) Proporciones del formaldehído y amina.
- 3) Tipo catalítico, ácido ó alcalino, (pH).
- 4) Grado de la reacción, afectado por la temperatura y el tiempo.

De acuerdo a las experiencias obtenidas en la fabricación de este tipo de resinas, se ha visto que una relación F/M no -- más baja que 2/1 es generalmente usada; si esta relación fuera más pequeña sería difícil a la melamina formar una solución homogénea.

El proceso usual de condensación de melamina formaldehído puede ser mejorado en algunos casos por los siguientes métodos:

a) Ajustando el pH de la solución de formaldehído a 7.5 cuando la temperatura está entre 60°-90° y después agregando la melamina.

b) Quitando cualquier traza de aluminio de la solución de formaldehído.

c) Moliendo y tamizando cuidadosamente la melamina.

La relación de reactivos como se vió anteriormente -
influye también en las propiedades del producto terminado.

C.- SISTEMA CATALITICO.

Los factores más importantes a controlar en las condensaciones de melamina con formaldehído son la rapidez de formación a sí como el curso de la reacción y estos son afectados principalmente - por la presencia de un ácido ó un alkali. La importancia del cataliza-
dor ó del pH en la fabricación de este tipo de resinas es en esta forma situada en primer lugar para el control de la reacción.

Numerosas investigaciones se han hecho sobre el efecto de los diferentes catalizadores en la rapidez de la reacción. Megson estudió la actividad de un número de ácidos experimentando en condensaciones con formaldehído, encontrando la efectividad de varios ácidos en el siguiente orden: ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido -- sulfúrico, ácido tricloroacético, ácido oxálico, ácido fosfórico, ácido dicloroacético, ácido cloroacético, ácido fórmico, ácido láctico y ácido acético.

Con excepción de los ácidos polibásicos oxálico y -- fosfórico, la efectividad catalítica es aproximadamente proporcional a la fuerza del ácido estimándolo por las constantes de disociación; con respecto a estas afirmaciones, Jones encontró que entre valores del pH de 1.3 a 3.0 existe una relación lineal entre la velocidad inicial de reacción, condensando el formaldehído en este experimento con fenol, -

y la concentración de iones hidrógeno a temperaturas de 80 y 100°C. -- Claramente esto indica que el ion hidrógeno es el catalizador activo - en las etapas iniciales de la condensación.

En el caso de bases, el hidróxido de sodio que es una base fuerte, es generalmente más efectiva que una base débil como el amoníaco. Cuando se tiene amoníaco, la substitución progresiva de ésta por grupos alquilo causa un incremento en la actividad catalítica a igual concentración molar, mientras incrementa la cantidad de grupos sustituyentes causa decremento en la actividad.

La actividad catalítica del hidróxido de calcio es más efectiva que el hidróxido de sodio y la del hidróxido de bario es menor.

Como es de esperarse la velocidad de reacción incrementa hasta cierto punto, tanto como la concentración de catalizador - aumenta.

Experimentos para investigar la cinética de la condensación de melamina y formaldehído (Okano y Ogata. J. Am. Chem. Soc. 74, 5723-5731 (1952)), usando soluciones muy diluidas de los reactivos en agua con una reacción F/M de 1/1 y 2/1, muestran que la velocidad de reacción de la hidroximetilación a 35°C y 40°C incrementa en el rango de pH de 3.0 a 10.6; el efecto ha sido especialmente sensible cuando el pH es cercano a 10.0. Cuando la reacción avanza a travez de la formación de puentes metileno manteniendo el pH entre 3.8 y 5.8, la velocidad de reacción a 70°C se mantiene en un máximo cerca de pH -- de 5.2.

D.- TEMPERATURA.

Es muy importante el control térmico de la reacción para obtener el polimero deseado, por lo que la temperatura fijada de acuerdo al proceso debe ser regulada adecuadamente. Se puede tomar como regla común, considerando los límites de temperatura, que la velocidad de reacción aumenta aproximadamente el doble por cada 10°C de aumento en la temperatura.

E.- MEDIO DE REACCION.

Cuando la melamina y el formaldehído se encuentran en un sistema reaccionante y es incluido un solvente no acuoso en este sistema, se puede afectar la velocidad de reacción. El decremento de la velocidad puede ser muy marcado hasta el punto de quedar completamente parada la reacción, dependiendo de la cantidad de solvente agregado.

Considerando que el formaldehído se usa para estas reacciones en solución acuosa, las reactividades de las diferentes formas del formaldehído son variables, dependiendo de la cantidad de agua, por lo que se observa claramente el efecto de un solvente en la mezcla reaccionante.

Un cambio en la concentración de agua así como la presencia de un solvente de diferentes constantes dieléctricas, pueden alterar las condiciones de equilibrio.

El retardamiento sobre la velocidad de reacción por

un solvente orgánico es también aparente en la reacción de formación de ligaduras metileno. En una solución alcoholica la resinificación puede ser fuertemente suprimida con la formación de ligaduras eter entre los grupos metilol y el solvente alcoholico.

El producto básico de la reacción de melamina y formaldehído, no tiene solubilidad en solventes de pintura o esmalte y se requiere una reacción adicional con un alcohol, en este caso el butanol, para desarrollar la solubilidad requerida; esta reacción adicional llamada butilación es usada en la fabricación de resinas melamínicas para formulación de esmaltes y de hecho es un bloqueo químico temporal para mantener los grupos reactivos inactivados hasta su modificación con otro material.

F.- CONTROL DE LA REACCION.

El control del proceso para la preparación de resinas de melamina formaldehído es muy importante para mantener las características del producto deseado. Cambiando las formas de las condiciones de operación pueden ser obtenidas un gran número de variaciones de la resina. La calidad de la resina está dada por la aplicación y uso final a que se destine.

En la manufactura de resinas melamínicas se usan las medidas de control con el fin de parar la reacción en el momento adecuado. Un producto sobrerreaccionado o un producto poco reaccionado - mostraran pobre o mal comportamiento en su uso final.

Cuando el grado propio de condensación o polimerización es alcanzado, la reacción de formación de la resina puede ser parada por los siguientes métodos:

- a) Enfriamiento
- b) Destrucción de la actividad del catalizador
- c) Dilución

G.- FORMALDEHIDO LIBRE.

La determinación del contenido libre del formaldehido en una mezcla reaccionante de melamina formaldehido, es una medida del progreso de la reacción, particularmente en donde el grado de polimerización es bajo.

De los métodos usados para la determinación del formaldehido libre de resinas melamínicas, está el del sulfíto de sodio - que se basa en la formación de un complejo con el formaldehido.

El método se identifica con la siguiente reacción:



Los pasos a seguir son los siguientes:

Se toman 50 ml. de una solución 1M. de sulfíto de sodio puro y se le agregan 3 gotas del indicador timolftaleina, esta solución se neutraliza con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico 1N. hasta que el color azul del indicador ha desaparecido. Después se pesa una cantidad exacta de la resina melamínica conteniendo el formaldehido li

bre y se agrega a la solución de sulfito de sodio, añadiendo alcohol - si es necesario para disolver la resina; esta mezcla resultante se titula con el ácido que se ha usado anteriormente hasta completar la decoloración. Es muy importante para un mejor control hacer un contratipo.

El contenido libre de formaldehído se obtiene así en esta forma mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{CH}_2\text{O} = \frac{\text{ml. de ácido usado} \times \text{normalidad del ácido} \times 3.0}{\text{Peso de la muestra.}}$$

El conocimiento del contenido libre de formaldehído, sirve como información en el control de calidad para saber la vida de almacenamiento, reactividad y comportamiento de la resina en sus aplicaciones.

H.- SOLUBILIDAD DE LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN.

En una mezcla reaccionante al seguir su curso la --- reacción más y más de los grupos -OH se siguen eliminando y como consecuencia el producto se hace menos soluble en agua. Las características de solubilidad de los productos de reacción en agua da otra medida de el crecimiento de la reacción.

Cuando la condensación no ha avanzado mucho, la resina y el agua en el sistema reaccionante son completamente miscibles. Al seguir su camino la reacción, la fase resina y la fase agua se van

separando. La separación desde luego depende de la cantidad relativa de la resina y el agua en el sistema, de la temperatura y de la presencia de cualquier otro solvente.

Las características de la solubilidad son medidas ya sea en términos de temperatura o en términos de la cantidad de agua - que puede ser tolerada en el sistema; en el punto donde la separación empieza a ocurrir.

Los métodos para la determinación de la solubilidad de estas resinas que más se emplean, son los siguientes:

Punto de Nube.- (Cloud Point). Este método se define como la temperatura a la cual aparece la primera turbidez con la separación de la fase acuosa, cuando una mezcla de la resina se enfría.

El método consiste en lo siguiente: Se colocan de 15-20 ml. de la mezcla resinosa en un tubo de ensaye que esté provisto de un agitador y un termómetro; la mezcla que ha sido calentada previamente se enfría con rápida agitación hasta que aparece la primera turbidez. En algunos casos no es necesario calentar la mezcla y solo basta enfriarla abajo de la temperatura ambiente.

Es muy importante notar que cuando las condiciones - de reacción permanecen constantes, el punto de nube es aproximadamente una función lineal del tiempo de reacción.

Temperatura Hidrofóbica.- (Hydrophobe Temperature). Cuando la reacción entre la melamina y el formaldehído empieza, el condensado que se forma es miscible en agua. Al progresar la reacción, -

la tolerancia de agua en el sistema decrece; por lo que si una pequeña cantidad de la resina inicial se diluye con una gran cantidad de agua, la separación empieza a ocurrir. Se han descrito a estas etapas como el cambio de la etapa hidrofílica a la etapa hidrofóbica.

El método simple de medición consiste en poner 2 o 3 gotas de la solución de la resina en un tubo de ensaye y llenarlo hasta la mitad con agua manteniendolo a una temperatura constante. La temperatura a la cual aparece un precipitado blanco es la temperatura hidrofóbica. Esta temperatura aumenta con el aumento de polimerización; por lo que la dilución a la proporción exacta de resina no es importante y la temperatura del agua es solo una medida. Esta prueba se puede realizar desde 0°C hasta cerca de 70°C.

I.- MEDIDA DE LA VISCOSIDAD.

La viscosidad es una propiedad muy importante que se puede usar para determinar el grado de polimerización en una condensación de melamina y formaldehído.

La viscosidad de la resina en solución tiene una relación directa con el tamaño medio molecular de la resina, y su determinación es muy aplicada en el control de procesos en producción.

La resina a la cual va a ser checada la viscosidad - puede ser probada en las siguientes formas:

- a) Directamente de la mezcla reaccionante.
- b) En el lecho de la resina una vez que se ha separado del lecho acuoso.

c) Tomando una muestra de la resina y disolviéndola en un solvente apropiado.

El método a seguir depende de la operación y manejo de el proceso. Es muy importante tomar en cuenta que la viscosidad varía grandemente con la temperatura y la concentración, por lo que estos factores deben ser referidos a unas condiciones estandard.

En seguida se citan los métodos comunes para determinar la viscosidad en resinas de melamina formaldehido, estos métodos son basados en aparatos los cuales son los siguientes:

Viscosimetro de Burbuja Gardner-Holdt.

Viscosimetro Brookfield Synchro-Lectric.

Viscosimetro Stormer.

Viscosimetro de Ostwald.

Viscosimetro de Bola Hoesppler.

En la manufactura de resinas la determinación rápida de la viscosidad es esencial con el fin de determinar el avance de la reacción. La posibilidad de que el polímero pueda llegar a la etapa de insoluble e infusible es detectada al probar en una muestra previa antes de llegar a ese punto. El curso de la reacción puede así ser seguido continuamente.

J.- MEDIDA DEL PUNTO DE FUSION.

Otra medida para checar el grado de polimerización de una resina melamínica, en este caso llevandola al estado sólido, es

el punto de fusión.

De los métodos a seguir para este material están el método de Dennis y el método de Mercurio de Nagels.

K.- ESTABILIZACION DE PRODUCTOS TERMINADOS.

Las resinas melamínicas antes de que sean detenidas a usos finales por curado, tienden a polimerizar a un grado más alto cuando están en almacenamiento. Después de que la resina ha sido fabricada se puede evitar esto haciéndola capaz de guardar su utilidad para el almacenamiento necesario.

Se puede conciderar que la estabilidad y la velocidad de curado son inversamente caracterizadas o sea que al tenerse -- máxima reactividad se tiene mínima estabilidad y viceversa.

L.- PRODUCTOS SOLIDOS.

Se puede tomar como norma general, que el camino -- más adecuado de estabilizar un producto resinoso de melamina formal--dehido es secarlo en cuanto sea posible. La reactividad del material en estado sólido es grandemente reducida. El secado puede realizarse por los siguientes métodos:

Secado al vacío, secado en escamas, secado por as--persión, etc. En escala de producción el secado por aspersion es el que se ha usado como el más aceptable y económico.

M.- CONTROL Y AJUSTE DE pH.

La mayoría de las resinas muestran la menor reactividad a un cierto pH. Se ha visto que generalmente a un pH de 7 ó ligeramente arriba es el más satisfactorio para almacenamiento.

Se puede citar como un caso ilustrativo en que forma se mejora la estabilidad de almacenamiento de una resina de melamina - formaldehído, agregando 0.4% de hidróxido de sodio basado en los sólidos de la resina modificada con bisulfito de sodio al 40% de concentración, ya que dicha estabilidad se cuadruplica.

Cuando la resina está almacenada, el pH debe ser mantenido tan constante como sea posible, en estos casos el uso de una solución buffer es muy conveniente. Se ha observado que agregando 0.1% de borax a resinas de melamina en solución, se incrementa altamente su vida de uso.

N.- ESTABILIDAD CON SOLVENTES.

Un solvente alcohólico es generalmente un buen componente que sirve para estabilizar a una resina cuando esta ha sido terminada de fabricar. La adición de este tipo de solventes permite almacenar la resina durante meses.

En el estudio referido a este anteproyecto, la resina al terminarse de fabricar, es decir, al obtener todas las propiedades requeridas, se puede agregar butanol con el fin de tenerla con ciertas condiciones de estabilidad y sólidos.

Entre los solventes alcoholicos más usados, están: - el metanol, el isopropanol, el butanol y el isobutanol.

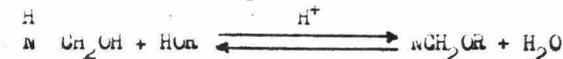
Las características de la resina obtenida son particulares de acuerdo al alcohol usado y al método escogido para la fabricación.

0.- PRODUCTOS SOLUBLES EN AGUA.

La polimetilolmelamina que es el compuesto monomérico de las resinas melamínicas es soluble en agua, se caracteriza por su inestabilidad ya que tiende a polimerizar cuando está en almacenamiento. La estructura del compuesto es más o menos cristalino y en agua fría su solubilidad disminuye.

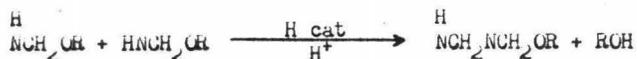
De acuerdo a investigaciones hechas por Mohrman y Reese indican que la polimetilolmelamina soluble se puede obtener con una relación F/M de 2 ó más alta al reaccionar la melamina con el formaldehído acuoso a 80°C. y a pH de 9.0 a 9.5, hasta que se obtiene una solución clara; ésta solución se seca por spray hasta obtener un polvo el producto obtenido es amorfo y muy higroscópico.

Quando se quiere obtener un condensado monomérico estable de melamina formaldehído, los grupos metilol activos los cuales son responsables de la polimerización se pueden bloquear temporalmente ya sea total o parcialmente por formación de grupos eter con un alcohol. Esto se ilustra en la siguiente ecuación:



El metanol es el alcohol más conveniente para obtener productos solubles en agua.

Estos productos alquilados son muy estables a temperaturas ordinarias y al ser calentados en presencia de un catalizador de curado ácido se realiza una condensación con la eliminación del alcohol, esto es ilustrado en la siguiente ecuación:



Cabe la posibilidad de que una parte de alcohol permanezca en la resina curada en forma combinada.

Se ha mencionado anteriormente que mientras la reacción de formación de puentes metileno avanza, los grupos hidrofílicos OH van siendo eliminados, por lo que el producto se va haciendo hidrofóbico e insoluble en agua. Debido a esto, al necesitar preparar resinas altamente polimerizadas que sean solubles en agua, es conveniente introducir grupos hidrofílicos en las moléculas del polímero, para esto hay tres clases de grupos hidrofílicos disponibles que son: Aniónicos, cationicos y no ionicos.

P.- PRODUCTOS SOLUBLES EN ACEITE.

Cuando es necesario formular resinas que sean solubles en aceite, se modifica la estructura del condensado por la introducción de grupos alofílicos así como grupos alquilo o arilo relativamente altos en peso molecular.

El proceso que es una eterificación permite mejorar la solubilidad de la resina en solventes orgánicos y la compatibilidad con otros materiales oleorresinosos.

La reacción puede ser llevada a cabo por condensación de polimetilolmelamina ó condensados de melamina y formaldehído, polimerizados al grado deseado, con un alcohol como metanol ó n-butanol y en presencia de un catalizador ácido.

En estas reacciones de eterificación son usados normalmente solo alcoholes. Cuando se usan alcoholes secundarios y terciarios, la velocidad de eterificación es más lenta que la velocidad de polimerización por lo que en la mezcla reaccionante se puede formar un gel.

Normalmente se usa para la eterificación el n-butanol y el isobutanol. Cuando se tienen alcoholes con menos de 3 átomos de carbono, la resina final tiene solo limitada compatibilidad con otros materiales y a la vez baja tolerancia de solventes hidrocarbonados. En el caso de los butanoles estos forman azeotropos con el agua y que con el enfriamiento se separan en alcohol y agua, por lo que la extracción de agua y la recuperación de alcohol es relativamente más fácil en el proceso.

CAPITULO IV

APLICACIONES Y USOS DE LAS RESINAS DE MELAMINA FORMALDEHIDO

La gran variedad de aplicaciones industriales a las que han sido llevadas las resinas de melamina formaldehido, las han -- hecho ganar un lugar de considerable importancia en la industria Nacio-- nal.

Esta resina termofija fué introducida comercialmente por la Cyanamid bajo el nombre de Melmac.

Tienen la habilidad de combinarse rapidamente con re-- llenos minerales y celulosicos que son los más ampliamente usados y al combinarse con alfa celulosa los rangos de color que se pueden obte-- ner son ilimitados. Tambien se pueden obtener compuestos moldeados con combinaciones de la resina con asbestos, algodón y madera.

El articulo moldeado es esencialmente un agregado -- del relleno y la resina curada. La proporcion del relleno a la resina en el compuesto moldeado varia generalmente de 2/3 a 3/2 por peso; ade-- más de la resina y el relleno se incluyen en la resina aceleradores y lubricantes , pudiendo tambien llevar para la terminación del producto endurecedores , colorantes, estabilizadores y plastificantes.

Las propiedades mecanicas del producto moldeado de-- penden de la naturaleza, así como de la forma física del relleno, esco-- giendo este de acuerdo al uso final del producto.

Las resinas melaminicas en la actualidad han ido aumentando su aplicación en el campo de los plasticos convencionales, de los cueros curtidos, del papel y de los materiales textiles. En estos casos el material basa su proceso de tratamiento en solución acuosa, por lo que la solubilidad en agua es indispensable para estas aplicaciones. Despues de que la resina se ha aplicado, esta se vuelve insoluble por una etapa de curado.

Estas resinas tienen tambien gran aplicación en laminados para aplicaciones industriales o usos decorativos. Para este tipo de materiales, la resina es altamente polimerizada con el fin de asegurar buena estabilidad y rápida penetración en el relleno; en algunas ocasiones es usado un plastificante en estos laminados.

Las resinas de melamina son ampliamente usadas en la formulación de adhesivos para madera, papel y otros materiales, estos pueden ser usados a elevadas temperaturas y generalmente no se usa catalizador de curado.

Uno de los usos más importantes a los cuales son destinadas las resinas melaminicas es el de los recubrimientos organicos, ya que se obtienen productos con exelentes cualidades.

Los recubrimientos organicos que hoy en día han adquirido gran auge industrialmente, requieren de materiales que permitan obtener buen brillo, exelente dureza, resistencia química, resistencia a la intemperie, retención de color y durabilidad, estas características son dadas adecuadamente por las resinas melaminicas en las formu-

laciones de pinturas y esmaltes horneados. Permiten estas resinas también obtener velocidades rápidas de curado a temperaturas relativamente bajas, por lo que la película aplicada puede ser manejada en corto tiempo sin peligro de ser dañada.

Entre las resinas que comúnmente pueden modificar a las resinas de melamina formaldehído, están las alquídicas y acrílicas en sus diversos tipos, estas combinaciones generalmente varían de 10 a 30 partes de la resina melamínica y de 90 a 70 partes de la resina modificante.

Debido a tales características estos recubrimientos son usados en gran volumen en automóviles, refrigeradores, estufas, lavadoras, equipos eléctricos, hornos, y en partes que pueden estar expuestas a una fuente de calor.

Finalmente se pueden citar un número importante de características que comparadas con otros materiales termofijos, las hacen sobresalientes dentro de cada aplicación específica:

- Alta resistencia al calor
- Estabilidad de color
- Excelente resistencia al arco eléctrico
- Excelente resistencia a la abrasión
- Resistencia química
- Inodoras e insaboras
- Baja absorción de agua
- Resistencia a la intemperie
- Buena dureza

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS DEL PROCESO.

El grado de pureza de las materias primas usadas en el proceso, debe reunir ciertas especificaciones que permitan uniformidad al proceso y al producto terminado.

La calidad del material primario usado se obtiene en el mercado normalmente, y cada una de ellas deben ser chequeados antes de iniciar el proceso a fin de verificar que cumplen con las especificaciones.

Las materias primas usadas en el proceso son las siguientes:

- a) Melamina.
- b) Paraformaldehido.
- c) Butanol.
- d) Acido formico.
- e) Hidroxido de sodio.
- f) Monofosfato de sodio.

a) Melamina. La melamina usada en el proceso tiene las siguientes propiedades fisicas:

Peso molecular.- 126.13

Aspecto.- Polvo blanco fino y cristalino.

Densidad.- 1.573 (ASTM-D891-59).

Punto de fusión .- 350°C (con parcial sublimación y descomposición).

Solubilidad en gr. por 100 gr. de disolvente:

agua a 20°C - 0.3

agua a 100°C - 5.0

etanol a 30°C - 0.06

acetona a 30 °C - 0.03

Contenido de nitrógeno.- 64.7-66.7%. (ASTM-D-1013-52)

Contenido de ceniza.- 0.1% máx. (ASTM-D-1951-61).

Contenido de agua.- 0.3% máx. (método de Fisher).

Manejo.- Este material debe ser manejado usando mascarilla contra polvos y guantes de hule.

b) Paraformaldehído.- Sus características físicas -- son las siguientes:

Aspecto.- Escamas o polvo blanco formado por una mezcla de glicoles polioximetilénicos de cadena de longitud media que contiene 91-92% de paraformaldehído y el resto de agua, y libre de materia extraña.

Contenido de paraformaldehído.- 91% mínimo.

Contenido de ceniza.- 0.01% máximo (ASTM-D-1063-51).

Contenido de agua.- 9.0% máx.

Contenido de hierro.- 2 ppm máximo.

Densidad .- 13.96 (ASTM-D-891-59).

Manejo y almacenamiento.- El paraformaldehído es un material sumamente tóxico a la piel, ojos y conductos respiratorios --

debiendose evitar cualquier contacto. Para manejarse deben usarse guantes de hule, respirador y mandil, asi como ventilación adecuada. Es un material muy inflamable que puede hacer explosión en contacto con una fuente de calor o chispas, por lo que debe almacenarse lejos de ellas.

c) Butanol n.- (alcohol butilico) Sus características físicas son las siguientes:

Peso molecular.- 74.12

Aspecto.- Líquido claro libre de materia extraña, de 98-100% de pureza.

Densidad.- 0.809-0.813 a 25°C (ASTM-D-891-59).

Punto de ebullición.- 115-120°C (ASTM-D-1078-62).

Velocidad de evaporación.- 45 (referida al acetato de butilo).

Acidez.- 0.03% máximo (como ácido acético) (ASTM-D-268-48).

Rango de destilación.- Empieza a 113°C mín, 90% de - 115-118°C, seco 118°C máx (ASTM-D-1078-491).

Color.- 25 máx (ASTM-D-268-4).

Solubilidad en agua.- -9 a -12%.

Solubilidad en ácido sulfúrico.- 100%.

Humedad.-0.5% máx (metodo de karl Fisher).

Manejo y almacenamiento.- Es un líquido toxico que -

puede causar irritaciones de la piel despues de su uso repetido y prolongado, por lo que se debe de manejar con guantes de hule. Debido a - que es inflamable, debe almacenarse en recipientes cerrados y en areas bien ventiladas, lejos de calor, chispas o flama abierta. No almacenar a más de 25°C.

d) Acido formico al 5%. - Sus características físicas son las siguientes:

Concentración de ácido formico en agua: 5% en peso.

Contenido de agua en la solución: 95% en peso.

Densidad a 20°C.- 1.0115 (ASTM-D-891-59).

Aspecto.- Líquido claro libre de material en suspensión.

e) Hidroxido de sodio al 20%. - Sus características físicas son las siguientes:

Concentración de hidroxido de sodio en agua.- 20% en peso.

Contenido de agua en la solución.- 80% en peso.

Densidad a 20°C.- 1.2191 (ASTM-D-891-59).

Aspecto.- Líquido claro libre de material en suspensión.

f) Monofosfato de sodio.- Sus características físicas son las siguientes:

Composición.- Ortofosfato de sodio primario monohidratado ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Aspecto.- Cristales blancos sin olor.

Fosfatos.- 56.5-58.5% como P_2O_5 , pesado como fosfomolibdato de amonio.

Manejo.- Este material debe manejarse usando mascarilla contra polvos y guantes de hule.

Peso molecular.- 138.01.

Densidad.- 2.040.

Solubilidad en agua.- 71 g/100 g de agua a 0°C, y —
390 g/100 g de agua a 83 °C.

CAPITULO VIEXPERIENCIAS Y CONDICIONES DEL PROCESO

Para la mejor elaboración de este estudio se hicieron varios experimentos para determinar el camino más adecuado de conducir la reacción.

En todos los experimentos se hizo uso de un matrás - de vidrio refractario de 5 litros de capacidad, con orificios para conectar los demás aditamentos como son: agitador de aire de velocidad - regulable; termometro para medición de la temperatura del medio reaccionante graduado en grados centígrados; columna de reflujo; separador con recirculación para extracción de agua y alcohol; orificio con tapón para adición de materia prima y toma de muestras. El matrás es calentado con un nido eléctrico con control automatico de temperatura.

A.-METODO SEGUIDO. A continuación se dá el metodo -- general seguido para las experiencias, dando despues los valores obtenidos en cada experimento:

En el matrás de vidrio refractario se agrega el para formaldehido junto con una solución de agua y butanol, esta mezcla se agita y se calienta a 70-75°C, una vez que se ha alcanzado está temperatura, se agrega una solución al 20% de hidroxido de sodio para neutralizar y se sube la temperatura hasta 95°C, manteniendose esta temperatura durante 10-15 minutos. se suspende el calentamiento y se agrega

inmediatamente una cantidad determinada de butanol y al mismo tiempo - enfriando el matr az exteriormente con agua hasta alcanzar la temperatura de 55°C. Se ha determinado que este enfriamiento debe ser rápido para evitar la formación de ácido fórmico. Siguiendo estos pasos iniciales adecuadamente, debe obtenerse un contenido de formaldehido de - 23-25% y un porcentaje de ácido fórmico menor que 0.025%.

En seguida se agrega una cantidad fija de solución - de ácido fórmico al 5% para acidificar la mezcla y despues se neutraliza con una solución al 20% de hidroxido de sodio, para agregar nuevamente solución de ácido fórmico hasta obtener un pH ligeramente ácido.

Con objeto de estabilizar el pH de esta mezcla, es - necesario agregar una sal que proporcione un efecto buffer, para esto se usa el 0.05% del peso total de esta mezcla, de monofosfato de sodio.

La mezcla obtenida se calienta a 70-73°C y se empieza a agregar lentamente la melamina, se sigue el calentamiento durante 20 a 30 minutos hasta obtener reflujo a 80°C, manteniendo el reflujo - total por 30 minutos.

En el separador adicionado al matr az se empieza la - extracción de agua; en esta etapa la temperatura del separador deberá ser de 25°C. La extracción de agua deberá hacerse paulatinamente durante 6 a 8 horas.

Hay que tomar en cuenta que antes de haber hecho una extracción total de toda el agua, hay que disminuir la temperatura del

condensador y despues disminuir el reflujo para evitar exeso de alcohol en el agua extraida.

Despues de la etapa anterior se empieza a extraer -- butanol hasta obtener una viscosidad de la resina de S-T, esto se hace aproximadamente en una hora. Obtenida esa viscosidad, se suspende el calentamiento y se agrega una cantidad fija de butanol para ajustar la viscosidad de Q a S y a 54-56% de solidos.

B.-RELACION DE REACTIVOS. La relación de formaldehido a melamina para llevar a efecto la reacción en condiciones optimas se hará en base a datos obtenidos de la experiencia en que nos indica que realmente las relaciones en masa de formaldehido a melamina (F/M) de 1.5/1, 2/1 y 2.5/1 son adecuadas para obtener productos con buenas propiedades. En el caso de la resina que se va a obtener, la introducción de radicales butilo en los grupos quimicamente reactivos, que resultan de la condensación entre la melamina y el formaldehido, nos va a dar el grado de entrecruzamiento y por tanto el grado máximo de avance de la polimerización, con lo que es posible dirigir la reacción hasta el punto deseado y obtener la resina butilada al por ciento de solidos requeridos en butanol. La cantidad de butanol necesaria tomando en cuenta las diferentes relaciones en masa de formaldehido a melamina según datos experimentales es la siguiente , siendo esta relación Butanol/Formaldehido/Melamina de 3/1.5/1, 3.5/2/1 y 4/2.5/1.

C.-pH DE LA REACCION. El pH de la mezcla reaccionante en este tipo de productos debe ser ligeramante ácido, con lo que en

los diferentes experimentos se hará una variación en la acidéz para -- determinar el punto adecuado de reacción. El pH estará dado por una so lución de ácido fórmico al 5%.

D.- TIEMPO DE ADICION DE REACTIVOS. En la adición de reactivos únicamente debe tenerse cuidado con la adición de melamina, ya que debe hacerse lentamente y con agitación para evitar formación -- de productos insolubles ó con alto índice de saturación.

E.- TEMPERATURA DE REACCION. La temperatura de reac-- ción del sistema es mantenida por la temperatura de reflujo, y este re flujo es controlado por el sistema de calentamiento del matríz.

F.- EXTRACCION DEL AGUA DE CONDENSACION. El agua que se ha formado por la condensación de los reactivos debe ser extraída -- del sistema, para esto es usado el separador en el cual se acumula -- agua y butanol; el tiempo necesario para esta extracción debe ser de -- ó a 8 horas con el fin de permitir una adecuada reacción y evitar que salga un exeso de butanol con el agua.

G.- EXTRACCION DE BUTANOL. La extracción del exeso -- de butanol para obtener el por ciento de solidos requerido, se hace des-- pues de la extracción de agua en un tiempo aproximado de una hora a -- dos horas mediante el mismo separador.

H.- AJUSTE DE VISCOSIDAD. Despues de que se ha extra-- ido el exeso de butanol, es necesario hacer un pequeño ajuste de la -- viscosidad y para lo cual se agrega a el producto final una pequeña -- cantidad de butanol hasta obtener un valor de Q a S en tubos Gardner-- holt.

I.- EXPERIENCIAS. Para determinar el camino más adecuado de conducir la reacción, así como para establecer la relación -- más conveniente de reactivos y las condiciones apropiadas para la obtención de la resina deseada para la aplicación particular ya mencionada, se hicieron varios experimentos, y de los cuales a continuación se indican las características generales de cada uno de ellos, dando después los valores usados y obtenidos.

Experimento 1.- Se fijó en este primer experimento -- una relación de butanol, paraformaldehído y melamina de 3.5/2/1, y se agregó la suficiente cantidad de agua para efectuar la despolimerización del paraformaldehído, y tener una cantidad adecuada de formaldehído en solución y un contenido de ácido fórmico libre, mínimo de acuerdo al ya establecido. El pH quedó ajustado finalmente a 6.0. Se hizo -- la extracción de agua con un poco de dificultad, y una vez que se suspendió, se continuó la extracción de butanol para ajustar los sólidos, pero la viscosidad se elevó demasiado y el contenido final de sólidos fué bajo, con un número ácido muy alto y una turbiedad que se observó desde la etapa de separación de agua. Las características del producto obtenido fueron malas.

Experimento 2.- En este ensayo, se mantuvo la misma relación de productos básicos, pero se bajó el contenido inicial de -- agua, asimismo el porcentaje de ácido fórmico libre para ajustar el pH a 5.8. La extracción de agua presentó también dificultad, y la extracción de butanol se empezó, pero debido al bajo porcentaje de sólidos --

fue suspendida, obteniendo un producto con una viscosidad muy alta y una ligera turbidez, así como un número ácido alto. Las características de este producto fueron malas.

Experimento 3.- Se cambió la relación de butanol/paraformaldehído/melamina a 4/2.5/1 y se agregó agua hasta tener una despolimerización completa del paraformaldehído, ajustando el pH a 5.8. - La extracción de agua fue dificultosa, y en la extracción de butanol se tuvo cuidado, haciéndola lentamente para evitar que la viscosidad se fuera muy alta. Se obtuvo una resina muy turbia debido a que permaneció gran cantidad de agua en la misma. La viscosidad obtenida fue baja y el número ácido fue alto. Las características de este producto fueron malas.

Experimento 4.- Se cambió la relación de reactivos a 3/1.5/1, bajando principalmente el contenido de paraformaldehído y --- ajustando el pH a 5.5. La extracción de agua fue relativamente fácil y la extracción de butanol se controló a fin de no subir mucho la viscosidad de la resina. Se ajustó el contenido de sólidos con butanol y se obtuvo una resina de una viscosidad alta con un número ácido regular. La resina final fue clara, pero debido a su alta viscosidad no se consideró como buena.

Experimento 5.- Se mantuvo la misma relación de reactivos que en el experimento anterior, y se ajustó el pH a 5.3, bajando también el contenido inicial de agua. El tiempo de calentamiento se hizo durante 55 minutos y la extracción de agua fue fácil, continuando

con la separación del butanol y controlandola a fin de conseguir una viscosidad adecuada, que al final de la extracción se ajustó. Se obtuvo un contenido de sólidos de acuerdo a los especificados, y la acidéz de la resina fue buena así como la transparencia. Esta resina quedó en condiciones adecuadas, obteniéndose en este experimento la manera de conducir la reacción, así como la relación apropiada de reactivos.

En la siguiente hoja se muestran los valores que se usaron y obtuvieron en cada uno de los experimentos citados anteriormente.

TABLA DE EXPERIMENTOS

%	Exp. # 1	Exp. # 2	Exp. # 3	Exp. # 4	Exp. # 5
% de Butanol	20.00	25.00	28.00	20.00	17.00
% de Agua	17.50	15.40	13.65	20.00	18.50
% de Paraform	25.30	26.00	28.65	21.15	22.00
% But. 2º paso	22.00	20.40	17.85	22.20	27.00
% ac. fórmico	0.40	0.20	0.40	0.50	0.35
% de Melamina	12.60	13.00	11.45	14.10	14.00
% But. Aj. Vis.	2.20	-	-	2.05	1.15
pH	6.0	5.8	5.8	5.5	5.3
Temp. reacción	86°C	93°C	90.5°C	92°C	91.8°C
Temp. Calent.	40 min	45 min	50 min	50 min	55 min
Separac. Agua	8 hrs	8.5 hrs	9 hrs	7.5 hrs	7 hrs
Separac. but.	20 min	35 min	50 min	1.5 hrs	1 hr
Viscosidad	U	Y	P	W	S
% de sólidos	48	46.3	49.1	56.2	55.7
Turbidez	Turbia	Lig Turbia	Muy turbia	Clara	Clara
Acidez	4.6	3.0	2.1	1.0	0.3
Densidad	0.98	1.09	1.0	1.05	1.01
Color	3	3	4	2	2
Característica	mala	mala	mala	regular	buena

CAPITULO VII

ANALISIS DE MERCADO Y CAPACIDAD DE LA PLANTA

El calculo de la capacidad de la planta se hará en base a la estimación de consumos de la resina melaminica necesaria para fabricación de esmaltes para la industria automotriz e industria de linea blanca.

El uso de estas resinas en recubrimientos y esmaltes orgánicos han ido tomando un camino ascendente, y en los ultimos 15 -- años, los incrementos que se han registrado en su producción han sido importantes.

El volumen de esmalte usado por cada unidad pintada y tomando en cuenta el total de unidades producidas, permite conocer -- el volumen de resina melaminica usada.

Para calcular estos volumenes se tomará como base -- los datos estimados de producción de unidades a partir del año de 1964 en la industria automotriz y en la industria de linea blanca que usan esmaltes fabricados con resinas de melamina formaldehido.

En las siguientes paginas se incluyen los cuadros de producción de las citadas industrias y mediante las cuales se estima-- ran las cifras de producción hacia el futuro:

CRECIMIENTO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN UNIDADES

años: 1964 a 1973

		FOXD	VAMSA	AUTOMEX	VOLKSWAGEN	DINA	NISSAN
1964	A	12339	3647	13805	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-
1965	A	16183	6938	22244	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-
1966	A	17340	8470	20000	16000	-	-
	C	7900	1200	8700	-	-	-
1967	A	15924	8470	18337	20000	-	-
	C	7930	1320	8900	-	-	-
1968	A	19763	9080	19123	23000	6500	6800
	C	9340	1450	9530	-	5300	-
1969	A	18952	9980	24493	27000	8600	10000
	C	10000	1530	9830	-	5400	-
1970	A	20800	10500	25500	30000	12500	16500
	C	11450	1595	9900	-	5500	-
1971	A	21500	11130	25800	33000	18000	18000
	C	12390	1610	-	-	5500	-
1972	A	22300	11800	25900	33000	18000	18000
	C	13390	1650	-	-	5600	-
1973	A	23500	12200	26000	34000	18000	18500
	C	14450	1700	-	-	5800	-

A - AUTOMOVILES, C - CAMIONES

FUENTES: Boletín de la Industria
Automotriz. Información directa
de Fabricantes

Tomando en cuenta los datos anteriores, se ha calculado el crecimiento estimado de la industria automotriz y a partir del año de 1974 hasta el año de 1978, la producción de automoviles y camiones según ese incremento será la siguiente:

PRODUCCION ESTIMADA DE AUTOMOVILES Y CAMIONES

Años: 1974 a 1978

	FCRD	VAMSA	AUTOMEX	VOLKSWAGEN	DINA	NISSAN	TOTAL
1974	A	24300	12500	26300	34000	18500	134600
	C	14900	1340	-	-	6000	22740
1975	A	25500	13000	26500	35000	18500	137500
	C	15000	2000	-	-	6000	23000
1976	A	26000	13500	27000	36000	19000	141000
	C	15200	2165	-	-	6200	23565
1977	A	26500	14000	28000	36000	19000	143500
	C	15400	2340	-	-	6300	24040
1978	A	27000	14500	28500	37000	20000	148000
	C	15600	2525	-	-	6500	24625

A - AUTOMOVILES, C - CAMIONES

FUENTE: Boletín de la Industria Automotriz. Información directa de fabricantes

Del cuadro anterior se deduce la producción estimada en 1978, y con esa producción se determinará el volumen de esmaltes -- que se van a usar y que contienen resinas de melamina formaldehido en su formulación.

Un esmalte automotriz contiene aproximadamente 18% - de resina melaminica y por cada automovil son usados en promedio 7 litros de esmalte, así como tambien por cada camión, por lo tanto se obtiene la siguiente relación:

Producción de automoviles en 1978: 148000 unidades

Producción de camiones en 1978: 24625 unidades

Litros de esmalte usados en promedio por unidad: 7

Total de unidades automoviles y camiones: 172625

Cantidad total de esmalte a usar: 1203375 litros

Porcentaje en volumen de resina en el esmalte: 18%

Cantidad total de resina a producir para fabricar

esmaltes automotrices en 1978: 217508 litros

Ahora se establecieran las cifras de producción para la industria de linea blanca: (siguiente hoja)

CRECIMIENTO DE LA INDUSTRIA DE LINEA BLANCA EN UNIDADES

Años: 1964 a 1973

	ENFRIADORES DE AIRE	LAVADORAS	REFRIGERADORES	ESTUFAS	CALENTADORES	TOTAL ANUAL
1964	17000	63220	96054	235401	67000	473735
1965	18000	81140	113650	285822	70600	569212
1966	21000	86200	138650	314685	74300	634835
1967	26500	98757	144926	339955	78300	688438
1968	34000	110736	160086	364475	83700	752997
1969	43000	121800	175000	386000	88500	814300
1970	49500	133000	187000	402800	93000	865300
1971	55000	145000	200000	420000	97500	917500
1972	59500	156400	212800	434900	102000	965600
1973	63000	168000	224200	448800	106500	1010500

FUENTE: S.I.C - Producción nacional de aparatos domesticos

Con estas cifras se estima la producción a partir de 1974, de acuerdo al siguiente cuadro:

PRODUCCION ESTIMADA DE LA INDUSTRIA DE LINEA BLANCA (1974-1978).

	ENFRIADORES DE AIRE	LAVADORAS	REFRIGERADORES	ESTUFAS	CALENTADORES	TOTAL ANUAL
1974	67000	179500	236000	461000	110800	1054300
1975	70000	190000	246800	473000	115300	1095100
1976	74000	201000	257700	484000	119500	1136200
1977	77500	211800	269000	493800	123700	1175800
1978	80500	222300	280000	500000	127500	1210300

Con las cifras del cuadro anterior que muestran el --
 incremento anual, se calcula la producción de resina de melamina for--
 maldelido necesaria para la industria de línea blanca en el año de --
 1978 por medio de la siguiente tabla:

AÑO 1978	ESMALTE USADO EN CADA UNIDAD	TOTAL DE ESMALTE USADO	% DE RESINA EN VOLUMEN
Enfriadores de aire 80500 unidades	0.4 litros	32200 litros	10
Lavadoras 225000 unidades	0.6 litros	135000 litros	17
Refrigeradores 280000 unidades	1.0 litros	280000 litros	15
Estufas 500000 unidades	0.3 litros	150000 litros	13
Calentadores 127500 unidades	0.3 litros	38250 litros	8

por lo tanto, con estos datos se estima que la cantidad de resina a --
 producir en el año de 1978 para la fabricación de esos esmaltes es la
 siguiente:

Para esmaltes de enfriadoras de aire	3220 litros
Para esmaltes de lavadoras	22950 litros
Para esmaltes de refrigeradores	42000 litros
Para esmaltes de estufas	19500 litros
Para esmaltes de calentadores	<u>3060 litros</u>
Total de resina para Línea Blanca	<u>90730 litros</u>

Finalmente sumando las cifras obtenidas en los cua--

ros anteriores de resina a usarse para industria automotriz y de resina a usarse para industria de linea blanca, se tiene:

RESINA A USAR PARA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN 1978: 217508 LITROS

RESINA A USAR PARA INDUSTRIA DE LINEA BLANCA 1978: 90730 LITROS

TOTAL DE RESINA MELAMINICA A PRODUCIR EN 1978: 308238 LITROS

La cantidad total de resina en 1978, para cubrir la producción de esmaltes para industria automotriz e industria de linea blanca, permite conocer en base a la siguiente tabla, la cantidad de la misma para cada uno de los años anteriores, tomando en cuenta el total de unidades para cada industria como sigue:

PRODUCCION ESTIMADA ANUAL DE RESINA DE MELAMINA FORMALDEHIDO

ANO	TOTAL UNIDADES LINEA BLANCA	TOTAL DE RESINA LINEA BLANCA	TOTAL UNIDADES IND. AUTOMOTRIZ	TOTAL DE RESINA IND. AUTOMOTRIZ
1974	1054300	79035	157340	198248
1975	1095100	82094	160500	202230
1976	1136200	85175	164565	207352
1977	1175800	88144	167540	211100
1978	1210300	90730	172625	217508

En esta forma, la cantidad total de resina de melamina formaldehido que tiene que producirse para cada año, se resume en la siguiente tabla.

(ver siguiente hoja)

PRODUCCION ESTIMADA TOTAL ANUAL DE RESINA

ANO		CANTIDAD
1974	_____	277283 litros
1975	_____	284324 litros
1976	_____	292527 litros
1977	_____	299244 litros
1978	_____	308238 litros

Con los datos obtenidos en este capítulo, se calcularán las diferentes características que debe tener el proceso para lograr obtener las cifras de producción indicadas.

CAPITULO VIII

CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LA PLANTA

A).- CAPACIDAD MAXIMA. El siguiente cálculo estará basado en los datos obtenidos de la capacidad de la planta.

al diseño del equipo se hará en función de operación de la planta a su máxima capacidad de producción.

Se calculó que para el año de 1978 la planta tendrá que producir 308238 litros de resina, siendo esta cantidad la máxima - que podrá producir esta planta, y por lo tanto en los años anteriores a 1978 el equipo trabajará a menor capacidad que la diseñada.

La capacidad máxima de operación por lote será calculada considerando que se trabajan 260 días al año; pero como el rendimiento del proceso es de 70%, entonces el diseño será en base a la capacidad inicial de reactivos y por lo tanto:

CAPACIDAD DE PRODUCCION DE RESINA: 308238 litros

RENDIMIENTO DEL PROCESO : 70%

CAPACIDAD INICIAL DE REACTIVOS : 440340 litros

por consiguiente:

CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACION POR LOTE: $440340/260 = 1693.6$ lit.

Para los años anteriores a 1978 la capacidad requerida por lote se calcula de acuerdo a las cifras establecidas para cada año de producción, teniendo las siguientes cifras:

(Cifras en la siguiente hoja)

ANO	CAPACIDAD DE OPERACION ANUAL	% DE EQUIPO OCUPADO	CAPACIDAD DE OPERACION POR LOTE	RESINA PRODUCIDA POR LOTE
1974	396118	90.0	1523.5	1066.5
1975	406177	92.2	1562.2	1093.5
1976	417396	94.0	1607.3	1125.1
1977	427491	97.1	1644.2	1151.0
1978	440340	100.0	1693.6	1185.5

Habiendo obtenido la capacidad máxima de operación - por lote, el equipo estará calculado para esta cantidad:

CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACION EN LITROS: 1693.6

APROXIMADAMENTE: 1700 LITROS

se tomará como base la densidad del producto que se obtiene finalmente y por lo tanto:

Densidad del producto final: 1.008 kg/lit.

CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACION EN KILOGRAMOS: 1714

B).- PROCESO SEGUIDO. De acuerdo a las características ya determinadas para el proceso a seguir, este se llevará a cabo - en la planta, trabajando a su máxima capacidad, por lo que el proceso se desarrollará en la siguiente forma:

Despolimerización.- En el equipo perfectamente limpio, en este caso el reactor, se agregan lentamente las siguientes cantidades de reactivos por cada lote de producción, para esto se va a tomar como base, el máximo lote a producir, que será como se mencionó de 1714 kilogramos:

Paraformaldehido	377.1 kg.
Agua desmineralizada	317.1 kg.
Butanol	291.4 kg.

Estos reactivos, una vez agregados, se mezclan con agitación moderada de 120-135 rpm y se calientan en seguida a 75°C -- usando vapor en la chaqueta del reactor; en este paso se procura que la presión de vapor no exeda de 2 kg./cm², a fin de evitar que pueda haber sobrecalentamientos en las paredes del reactor, y tener un mejor control de la temperatura.

Alcanzada la temperatura indicada, se neutraliza la mezcla anterior con alcali al 20% (se agregan 0.012% en peso por el total de cada lote aproximadamente):

Hidroxido de sodio al 20% 0.206 kg.

Esta mezcla se calienta hasta 95°C, controlando el vapor en la chaqueta del reactor para mantener por 15 minutos a esta temperatura.

Se cierra el vapor de calentamiento, y se agrega rápidamente la siguiente cantidad de butanol, a la vez que se enfria a 55°C usando agua en el interior de la chaqueta:

Butanol (n) 462.8 kg.

En este paso despues de mezclar rapidamente, se determina por analisis que el producto resultante de un contenido menor de ácido fórmico a 0.025%, y un porciento de formaldehido de 24-26%. - Hasta aqui se ha llevado a cabo la despolimerización del paraformaldehido.

Ajuste de pH.- A fin de tener a la solución anterior con un pH estable y ligeramente ácido para realizar posteriormente la reacción final, se hace un ajuste a la misma en la siguiente forma:

Acido Fórmico (solución al 5%) 6.0 kg. -

Se agrega exactamente la cantidad anterior a la solución del reactor, mezclando durante 10 minutos. Despues se agrega solución de hidroxido de sodio al 20% para neutralizar, (se agrega 0.042% en peso por el total de cada lote aproximadamente):

Hidroxido de sodio al 20% 0.72 kg.

Se mezcla durante 5 minutos y finalmente se ajusta el pH de la mezcla final con ácido fórmico, hasta obtener un valor de 5.3.

Para lograr estabilizar el pH de el producto resultante, se agregan aproximadamente 0.04% en peso de monofosfato de sodio por el total de cada lote, y por tanto:

Monofosfato de sodio 0.636 kg.

La mezcla resultante se calienta a 70-72°C, y despues de alcanzar esta temperatura, se inicia la adición de melamina.

Adición de Melamina.- Esta adición se hace lentamen-

te a la solución del reactor, y por cada lote se agregan:

Melamina 239.9 kg.

Una vez agregada, se calienta con vapor en la chaqueta por espacio de 25 minutos, hasta que se alcanza reflujo, el cual se mantiene durante 30 minutos más.

Extracción de agua.- Los vapores que se reflujan y condensan, se envían al separador, en donde el agua separada de el butanol se empieza a extraer; en este paso la presión del vapor se mantiene de 2 a 3 kg/cm² de presión para tener un reflujo continuo.

La temperatura que se registra en el separador, debe estar en 25-30°C, con objeto de permitir una separación eficiente. La capa superior de líquido en el separador que es butanol, se regresa al reactor.

La extracción de agua se realiza aproximadamente en 7 horas, obteniendo las siguientes cantidades de agua en cada hora -- (se obtienen aproximadamente 28 partes de agua, por cada 100 partes de lote total):

primera hora	82	litros
segunda hora	82	"
tercera hora	82	"
cuarta hora	72	"
quinta hora	64	"
sexta hora	58	"
septima hora	40	"

Con objeto de evitar que exista un exeso de butanol en el agua extraida, al ir disminuyendo el contenido de agua en el sistema, se debe disminuir el reflujo y bajar la temperatura del condensador alimentando más agua de enfriamiento. Esto se debe hacer cuando se llevan unas 3/4 partes de agua extraida.

Extracción de butanol.- Una vez extraida la cantidad anterior de agua, se inicia la extracción de butanol; que se hace en el mismo separador. La extracción se hace hasta que el producto del reactor a alcanzado una viscosidad Gardner-Holt de S a T (aproximadamente se extraen una parte, por cada 100 partes de lote total) y por tanto:

Butanol Extraido 17 kg.

Con el fin de ajustar la viscosidad del producto resultante, a sus valores normales de η a S en tubos Gardner-Holt y un contenido de solidos totales de 55%, se agrega la siguiente cantidad de butanol:

butanol 19.7 kg.

Despues de esta adición, se mezcla durante 15 minutos y finalmente la resina terminada se filtra por medio de un filtro tipo sparkler, con lo cual se obtiene un producto claro y sin materias extrañas.

La resina así obtenida esta lista para ser envasada en tambores de 200 litros y salir al mercado.

C).- DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE FABRICACION. La distribución que se describe a continuación, se ha hecho en base a los pasos que se siguieron para la obtención de la resina en el laboratorio, obteniéndose un tiempo total de fabricación de la resina, incluyendo - el tiempo para limpieza y preparación, de 16 horas. De esta manera se trabajarán 2 turnos en la planta, cada uno de 8 horas.

Agregado de paraformaldehído, agua desmineralizada y butanol:

Paraformaldehído (377.1 kg) -- 15 minutos

Agua desmineralizada (317.1 kg) 317.1 lts -- 10 min.

Butanol (291.4 kg) 359.9 lts -- 10 minutos

Tiempo de mezclado y calentamiento a 75°C -- 20 minutos

Tiempo de neutralización y calentamiento a 95°C -- 50 minutos

Tiempo de agregado de butanol (462.8 kg) 571.4 lts -- 15 minutos

Tiempo de enfriamiento con agua -- 15 minutos

Tiempo de checado de ácido fórmico y formaldehído -- 20 minutos

Tiempo de ajuste de pH, estabilización y calentamiento -- 60 min

Tiempo de adición de melamina -- 30 minutos

Tiempo de calentamiento y reacción -- 55 minutos

Tiempo de extracción de agua y butanol -- 480 minutos

Tiempo de ajuste de viscosidad -- 60 minutos

Tiempo de filtrado, vaciado y envasado -- 30 minutos

Tiempo de limpieza e imprevistos -- 90 minutos

TIEMPO TOTAL DE OPERACION 960 minutos = 16 horas

D).- VAPOR DE CALENTAMIENTO. Para la fabricación de la resina de melamina formaldehído, se efectúan diferentes calentamientos en el transcurso de la reacción, por medio de vapor a fin de lograr en cada paso la temperatura a la cual se realiza el proceso.

Para la determinación de la cantidad máxima de vapor que se ha de usar y que va a ser proporcionado por una caldera, se hace a continuación un cálculo de la cantidad de calor que se necesita aplicar en cada paso, obteniendo con eso en que paso se requiere aplicar la mayor cantidad de calor, y por consiguiente el gasto máximo de vapor.

De acuerdo a las condiciones de operación establecidas en el punto B de este capítulo, se tienen los siguientes cálculos:

q_1 = Calentamiento a 75°C para despolimerización de paraformaldehído.

Tiempo de calentamiento : 20 minutos

$$q_1 = m_1 C_{p1} \Delta T_1$$

$$m_1 = 985.6 \text{ kg}$$

$$C_{p1} = \text{aproximadamente } 1$$

$$\Delta T_1 = (75-22) = 53$$

$$q_1 = 985.6 \times 1 \times 53 = 52237 \text{ Kcal}$$

tomando un 10% más como pérdidas por radiación y ajustando a una hora:

$$q_1 = (52237 + 5223) \cdot 60/20$$

$$q_1 = 172,377 \text{ Kcal/Hr}$$

$q_2 =$ Calentamiento hasta 95°C

Tiempo de calentamiento; 50 minutos

$$q_2 = m_2 C_{p2} \Delta T_2$$

$$m_2 = 985.806 \text{ kg}$$

$C_{p2} =$ aproximadamente 1

$$\Delta T_2 = (95 - 72) = 23 \text{ se supone que ha habido un ligero enfriamiento hasta } 72^\circ\text{C}$$

$$q_2 = 985.806 \times 1 \times 23 = 22673.5 \text{ Kcal}$$

tomando 10% como perdidas por radiación y ajustando a una hora:

$$Q_2 = (22673.5 + 2267.3) 60/50$$

$$Q_2 = 29929 \text{ Kcal/Hr}$$

$q_3 =$ Enfriamiento con agua hasta 55°C

Tiempo de enfriamiento: 15 minutos

$$q_3 = m_3 C_{p3} \Delta T_3$$

$$m_3 = 985.806 \text{ kg}$$

$C_p =$ aproximadamente 1

$$\Delta T_3 = (55 - 95) = -40$$

$$q_3 = 985.806 \times 1 \times (-40) = -39432.2 \text{ Kcal}$$

ajustando el valor a una hora:

$$Q_3' = -39432.2 (60/15)$$

$$Q_3' = -157729 \text{ Kcal/Hr}$$

pero hay que considerar que en este paso se agrega una cantidad de butanol que está frío, y por lo tanto también absorbe calor, por lo que hay que descontar de Q_3' este valor para obtener el valor real del

calor que queda por eliminar, calor que se necesita quitar con agua,
por lo tanto se tiene:

$$q_{3b} = m_{3b} C_{p3b} \Delta T_{3b}$$

$$m_{3b} = 462.8 \text{ kg}$$

$$C_{p3b} = \text{aproximadamente } 1$$

$$\Delta T_{3b} = (55-22) = 33$$

$$q_{3b} = 462.8 \times 1 \times 33 = 15280 \text{ Kcal}$$

ajustando el valor a una hora:

$$q_{3b}' = 15280 (60/15)$$

$$q_{3b}' = 61120 \text{ Kcal/Hr valor que hay que restar a } Q_3' \text{ para obtener}$$

Q_3 :

$$Q_3 = Q_3' - q_{3b}' = -157729 + 61120$$

$$Q_3 = -96609 \text{ Kcal/Hr}$$

$$q_4 = \text{Calentamiento hasta } 72^\circ\text{C}$$

Tiempo de calentamiento: 30 minutos

$$q_4 = m_4 C_{p4} \Delta T_4$$

$$m_4 = 1456.012 \text{ kg}$$

$$C_{p4} = \text{aproximadamente } 1$$

$$\Delta T_4 = (72-50) = 22 \text{ se supone un ligero enfriamiento hasta } 50^\circ\text{C}$$

$$q_4 = 1456.012 \times 1 \times 22 = 32032.3 \text{ Kcal}$$

tomando 10% más como perdidas por radiación y ajustando a una hora:

$$Q_4 = (32032.3 + 3203.2) 60/30$$

$$Q_4 = 70471 \text{ Kcal/Hr}$$

$$q_5 = \text{Calentamiento hasta } 92^\circ\text{C}$$

Tiempo de calentamiento: 25 minutos

$$q_5 = m_5 C_{p5} \Delta T_5$$

$$m_5 = 1695.912 \text{ kg}$$

$$C_{p5} = \text{aproximadamente } 1$$

$$\Delta T_5 = (92-70) = 22 \text{ se supone un ligero enfriamiento hasta } 70^\circ\text{C}$$

$$q_5 = 1695.912 \times 1 \times 22 = 37300 \text{ Kcal}$$

tomando el 10% de perdidas por radiación y ajustando a una hora:

$$Q_5 = (37300 + 3730) \text{ } 60/25$$

$$Q_5 = 98600 \text{ Kcal/Hr}$$

$$Q_6 = \text{Calentamiento para mantener reflujo a } 92^\circ\text{C}$$

Tiempo de calentamiento: 30 minutos

$$q_6 = m_6 \lambda + Q_7$$

m_6 es la masa de solventes que se estan reflujiendo, y por lo tanto se considera que será la suma del agua total extraida, más el butanol que se encuentra en solución:

$$\text{masa de agua} = 480 \text{ kg}$$

+

$$\text{masa de butanol} = 754 \text{ kg}$$

=

$$\text{masa reflujiada} = 1234 \text{ kg} = m_6$$

$$\lambda = \text{Calor latente de vaporización promedio de la mezcla de solventes} = 256.8 \text{ Kcal/Kg}$$

Q_7 = Calor que se necesita dar a la mezcla de solventes condensados para alcanzar la temperatura de reflujo

$$Q_7 = m_7 C_{p7} \Delta T_7$$

$$m_7 = 194.77 \text{ kg}$$

$$Cp_7 = \text{aproximadamente } 1$$

$$\Delta T_7 = (92-30) = 62$$

$$q_6 = 1234 \times 256.8 + 194.77 \times 1 \times 62 = 328340 \text{ Kcal}$$

tomando el 10% de perdidas por radiación y ajustando a una hora:

$$q_6 = (328340 + 32834) \text{ } 60/30$$

$$q_6 = 722348 \text{ Kcal/Hr}$$

Tabulando los valores obtenidos, se tiene:

$$q_1 = 172377 \text{ Kcal/Hr} = 683500 \text{ BTU/Hr}$$

$$q_2 = 29929 \text{ Kcal/Hr} = 118800 \text{ BTU/Hr}$$

$$q_3 = -90009 \text{ Kcal/Hr} = -383500 \text{ BTU/Hr}$$

$$q_4 = 70471 \text{ Kcal/Hr} = 391500 \text{ BTU/Hr}$$

$$q_5 = 98600 \text{ Kcal/Hr} = 355000 \text{ BTU/Hr}$$

$$q_6 = 722348 \text{ Kcal/Hr} = 2870000 \text{ BTU/Hr}$$

De esta forma se obtienen las cantidades de vapor -- que deben suministrarse en cada paso, mediante la fórmula $M = Q/\lambda$ donde, M = masa de vapor por hora, Q = calor suministrado, λ = calor -- latente de vaporización del vapor de calentamiento.

$$M_1 = q_1/\lambda = 172377/543.5 = 317 \text{ kg/Hr de vapor}$$

$$M_2 = q_2/\lambda = 29929/543.5 = 55 \text{ kg/Hr de vapor}$$

$$M_3 = \text{masa de agua para enfriar} = q_3/Cp \Delta T$$

$$Cp \text{ agua} = 1$$

$$\Delta T = (35^\circ\text{C temp. de salida} - 22^\circ\text{C temp. de entrada})$$

$$M_3 = 96609/1 \times (35-22) = 7420 \text{ kg/Hr de agua}$$

$$M_4 = Q_4/\lambda = 70471/543.5 = 130 \text{ kg/Hr de vapor}$$

$$M_5 = Q_5/\lambda = 98600/543.5 = 181 \text{ kg/Hr de vapor}$$

$$M_6 = Q_6/\lambda = 722348/543.5 = 1333 \text{ kg/Hr de vapor}$$

Por lo que de esta manera la caldera tendrá que suministrar la máxima cantidad de calor Q_6 que corresponde a 1333 kg/Hr de vapor.

CAPITULO IX

CALCULO DEL EQUIPO DE PROCESO

Para el diseño de las diferentes partes del proceso se divide el equipo en cuatro partes principales:

- 1.- SECCION DE REACCION, CONDENSACION Y REFLUJO.
- 2.- SECCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y PESADO DE MATERIA PRIMA.
- 3.- SECCION DE FILTRADO, Y ENVASADO DEL PRODUCTO TERMINADO.
- 4.- SECCION DE PRODUCCION DE VAPOR Y AGUA DE ENFRIAMIENTO

I.- SECCION DE REACCION ,CONDENSACION Y REFLUJO

El sistema principal en el proceso de fabricación de resinas de melamina formaldehido, es el sistema de reacción, que consiste de un reactor, con un sistema de condensación y un sistema de reflujo. El reactor será diseñado con el cuerpo cilindrico y las cabezas toriesfericas y el material de construcción será acero inoxidable, para tener resistencia a los materiales corrosivos que manejará. Estará provisto de agitación y calentamiento, y soportará la presión del vapor - de calentamiento.

Para el diseño del reactor se hacen los siguientes - calculos, basados en las condiciones de trabajo que tendrá el mismo:

- A.- Volumen total del reactor
- B.- Dimensiones de la sección cilíndrica
y cabezas del reactor
- C.- Chaqueta de calentamiento del reactor
- D.- Espesor de las paredes del reactor
- E.- Sección de agitación del reactor
- F.- Sección de condensación y reflujo

A.- Volumen total del reactor.

El reactor será diseñado para manejar el volumen -- máximo de producción, y además se considerará en base a este volumen, - un tercio más grande para el volumen de diseño, con lo que se tiene el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen del reactor} = \text{Volumen de producción} + 1/3 \text{ Volumen de producción}$$

$$\text{Volumen del reactor} = \text{V.T.R.} = 1700 + 1/3 (1700)$$

$$\text{V.T.R.} = 2266 \text{ litros} = 2.266 \text{ m}^3 \text{ que es el volumen de diseño.}$$

B.- Dimensiones de la sección cilíndrica y cabezas - del reactor.

Para dimensionar al reactor, se definen las siguientes partes del mismo:

$$\text{V.T.R.} = \text{Volumen total del reactor} = \text{Volumen de la sección cilíndrica} + \text{Volumen de las cabezas}$$

$$\text{Volumen de las cabezas} = \text{Volumen sección recta} + \text{Volumen sección curva}$$

Dentro del volumen de la sección cilíndrica, se incluirá el volumen de la sección recta de las cabezas, por lo que la -- fórmula final es:

$$\text{V.T.R.} = \pi R^2 H + 2(1/2 \pi h (r^2 + h^2/3))$$

de esta fórmula se tiene la siguiente nomenclatura:

R = radio del cilindro.

H = altura del cilindro.

h = altura de la cabeza sección curva.

r = radio de la cabeza.

En base a la información existente para reactores de tipo cilindrico con cabezas toriesfericas, las relaciones más convenientes para el diseño de este reactor son las siguientes:

$$R = r$$

$$D = 2R$$

$$H = 1.2 D$$

$$h = 0.186D$$

sustituyendo valores en la fórmula se obtiene:

$$V.T.R. = 3.14x R^2 (1.2D) + 3.14 (0.186D) (R^2 + (0.186D)^2/3)$$

poniendo la ecuación en función de R:

$$V.T.R. = 3.14 x R^2 (2.4R) + 3.14 (0.372R) (R^2 + 0.138R^2/3)$$

$$V.T.A. = 7.536 R^3 + 1.212 R^3$$

$$2.266 = 8.748 R^3$$

$$R = \sqrt[3]{2.266/8.748}$$

$$R = 0.64 \text{ metros}$$

sustituyendo este valor en las demás relaciones, se obtienen los siguientes valores:

$$r = 0.64 \text{ metros}$$

$$D = 1.28 \text{ metros}$$

$$H = 1.536 \text{ metros}$$

$$h = 0.24 \text{ metros}$$

y por consiguiente, la altura total del reactor será la del cilindro más la de los casquetes:

$$\text{Altura total} = 1.536 + 2 \times 0.24$$

$$\text{Altura total} = 2.016 \text{ metros}$$

C.- Chaqueta de calentamiento del reactor.

1.- Altura de la chaqueta.- el reactor estará provisto de calentamiento indirecto por medio de vapor, y por tanto, tendrá una chaqueta por la que circulará el vapor a una cierta presión para obtener la temperatura de reacción y el reflujo adecuado.

El material a usarse será acero inoxidable, y la chaqueta tendrá una altura igual a la altura que alcanza la carga total de reactivos en el reactor.

Esta altura se calcula mediante la siguiente ecuación

$V_l = \text{Volumen del líquido} = V \text{ cilindro} + V \text{ casquete inferior}$

$V_l = 1714 \text{ litros}$

$V \text{ cilindro} = \pi R^2 H'$

$R = \text{Radio del cilindro.}$

$H' = \text{Altura que alcanza el líquido en el cilindro}$

$V \text{ casquete inferior} = 1/2 \pi h (r^2 + h^2/3)$

$h = \text{altura del casquete curvo}$

$r = \text{radio del casquete} = R$

por tanto se tiene:

$$V_l = \pi R^2 H' + 1/2 \pi h (r^2 + h^2/3)$$

despejando H' :

$$H' = V_l / \pi R^2 - 1/2 \pi h (r^2 + h^2/3) / \pi R^2$$

$$H' = V_l / \pi R^2 - 1/2 \pi h (r^2 + h^2/3) / \pi R^2$$

$$H' = V_l / \pi R^2 - 1/2 h - 1/6 h^3 / R^2$$

sustituyendo los valores que se tienen:

$$H' = 1.714 / 3.14 (0.64)^2 - 0.5 \times 0.24 - 0.166 (0.24)^3 / 0.64^2$$

$$H' = 1.213 \text{ metros.}$$

La chaqueta estará separada del cuerpo del reactor - por 2 pulgadas en toda su sección, y será hecha de acero inoxidable — tipo 304.

Al diametro de la chaqueta en su sección cilíndrica será por consiguiente, el diametro del reactor más dos pulgadas a cada lado, que es la separación del cuerpo del reactor.

$$D_{ch} = 50.4 + 4.0 = 54.4 \text{ in} = 1.38 \text{ metros.}$$

2.- Área de calentamiento del reactor.- Esta área es ta definida por la altura que alcanza la chaqueta de calentamiento en el cilindro, más el área que ocupa el casquete inferior, y por lo tanto se define por la siguiente ecuación:

$$A_H = 2 \pi R H' + 2 \pi r h$$

$$R = \text{Radio del cilindro} = 0.64 \text{ m}$$

$$H' = \text{Altura del líquido en el cilindro} = 1.213 \text{ m}$$

$$r = \text{radio del casquete inferior} = 0.64 \text{ m}$$

$$h = \text{Altura del casquete inferior} = 0.24 \text{ m}$$

$$A_H = 6.2832 \times 0.64 \times 1.213 + 6.2832 \times 0.64 \times 0.24$$

$$A_H = 5.83 \text{ m}^2$$

D.- Espesor de las paredes del reactor.

Para el diseño de las paredes del reactor incluyendo el enchaquetado del mismo, se hará uso de la relación para el calculo de reactores cilíndricos sujetos a presión, que se describe en el manual Flanged & Dished Spun Heads (Bethlehem) y en el código de la ASME

Boiler and Pressure Vessel Code (Catalogo 2141).

La presión usada en el reactor será la atmosférica, y en su parte externa soportará la presión del vapor del enchaquetado, por lo que el diseño de todo el reactor se hará en función de la presión máxima a soportar, de acuerdo a los siguientes calculos:

Presión de vapor que soporta el reactor: $3 \text{ kg/cm}^2 = 42.7 \text{ psig}$

(a).- Diseño de la pared interna del reactor por presión externa del vapor en la sección cilíndrica:

Para este diseño se necesitan conocer las siguientes relaciones:

$$L/Do; Do/t; \text{ y } Pa = B/Do/t$$

$$L = H' = 1.213 \text{ m} = 47.6 \text{ in.}$$

$$Do = \text{diámetro reactor} = 1.200 \text{ m} = 50.4 \text{ in.}$$

t = espesor de la pared

B = Función de L/Do y t

al espesor t se supone, para que de acuerdo a las relaciones anteriores, se pueda encontrar por tanteos, mediante la gráfica de parametros de resistencia para el acero inoxidable 316, en función de un diametro y un espesor y longitud determinados (Bethlehem), la presión que se aproxima a la real que existe en el sistema:

$$t \text{ se supone} = 1/4 \text{ in.} = 0.25 \text{ in.}$$

$$L/Do = 47.6/50.4 = 0.945$$

$$Do/t = 50.4/0.25 = 201$$

por tanto $Pa = B/201$ y $B = 6750$ (de gráfica)

$$Pa = 6750/201 = 33.6 \text{ psig (abajo del valor real)}$$

si t se supone = $3/8$ in. = 0.375 in.

$$L/Do = 0.945$$

$$Do/t = 50.4/0.375 = 134.4$$

y por tanto $Pa = B/134.4$ y $B = 8750$ (de gráfica)

$$Pa = 8750/134.4 = 65 \text{ psig (arriba del valor real)}$$

suponiendo $t = 5/16$ in. = 0.315 in.

$$L/Do = 0.945$$

$$Do/t = 50.4/0.315 = 160$$

obteniendo así $Pa = B/160$ y $B = 8400$ (de gráfica)

$$Pa = 8400/160 = 52.5 \text{ psig (valor cercano al real)}$$

por lo que se tomará como espesor para la sección cilíndrica del reactor igual a $5/16$ in.

Para checar la presión máxima interna que puede --- aguantar el reactor en la sección cilíndrica con el espesor encontrado, se efectúa el siguiente cálculo:

$$t = 5/16 \text{ in.} = 0.315 \text{ in.}$$

$$P_{max} = S\Delta t / R + 0.6t$$

$$S = \text{esfuerzo permisible para el acero inoxidable} = 17,100 \text{ psi}$$

$$\Delta = \text{eficiencia de la soldadura} = 85\%$$

$$t = 0.315$$

$$R = \text{radio del cilindro} = 0.64 \text{ m} = 25.20 \text{ in.}$$

sustituyendo:

$$P_{max} = 17,100 \times 0.85 \times 0.315 / 25.2 + 0.6 \times 0.315$$

$$P_{max} = 180 \text{ psig}$$

por lo que con el espesor encontrado se soporta perfectamente la presión en un amplio rango, dentro del reactor.

(b).- Diseño de la pared interna del reactor por presión externa del vapor en la sección del casquete inferior:

Se hace uso de las mismas relaciones, para que por tanteos se encuentre el espesor adecuado que soporte la presión máxima real.

suponiendo $t = 5/16 \text{ in.} = 0.315 \text{ in.}$

se tienen las siguientes relaciones:

$$Li/100th \quad ; \quad Li/th \quad \text{y} \quad Pa = B/Li/th$$

$$Li = \text{Diametro del casquete inferior} = 1.28 \text{ m} = 50.4 \text{ in.}$$

$$th = \text{Espesor de pared del casquete} = 0.315 \text{ in.}$$

sustituyendo:

$$Li/100th = 50.4/100 \times 0.315 = 1.62$$

$$Li/th = 162$$

graficamente se encuentra $B = 8450$

$$Pa = B/Li/th = 8450/162 = 52 \text{ psig (aproximado al real)}$$

por lo que el espesor supuesto es el adecuado para soportar la presión en el casquete inferior, quedando $t = 5/16 \text{ in.}$

Para checar la presión interna máxima que puede soportar el casquete inferior del reactor a ese espesor encontrado, se tiene:

$$P \text{ max} = 3.6t/0.885Li + 0.1t$$

$$S = 17,100 \text{ psi}$$

$$E = 0.85$$

$$t = 0.315 \text{ in.}$$

$$L_i = 50.4 \text{ in.}$$

sustituyendo:

$$P_{\text{max}} = 17,100 \times 0.85 \times 0.315 / 0.885 \times 50.4 + 0.1 \times 0.315$$

$$P_{\text{max}} = 102 \text{ psig}$$

que es la presión máxima que puede soportar el fondo del reactor internamente, con el espesor calculado.

(c).- Diseño de la pared externa de la chaqueta sección cilíndrica, para soportar la presión del vapor de trabajo:

Se supondrá el espesor de esta sección hasta encontrar el valor aproximado a la presión real.

suponiendo $t = 3/16 \text{ in.} = 0.1875 \text{ in.}$ y usando la siguiente fórmula:

la:

$$P_{\text{max}} = S \cdot t / R + 0.6t$$

$$S = 17,100 \text{ psi}$$

$$E = 0.85$$

$$t = 0.1875 \text{ in.}$$

$$R = 27.2 \text{ in.}$$

sustituyendo:

$$P_{\text{max}} = 17,100 \times 0.85 \times 0.1875 / 27.2 + 0.6 \times 0.1875$$

$$P_{\text{máx}} = 100 \text{ psig}$$

se encuentra que este valor es alto, entonces se supone otro espesor:

$$\text{Con } t = 1/8 \text{ in.} = 0.125 \text{ in.}$$

$$P_{\text{max}} = 17,100 \times 0.85 \times 0.125 / 27.2 + 0.6 \times 0.125$$

$$P_{\max} = 67 \text{ psig}$$

entonces se considera el espesor como de 1/8 in., que es el adecuado para soportar la presión del vapor de calentamiento del reactor.

(d).- Diseño de la pared externa de la chaqueta en la sección del casquete para soportar la presión del vapor de trabajo:

$$\text{suponiendo un valor de } t = 3/16 \text{ in.} = 0.1875 \text{ in.}$$

se tiene la siguiente fórmula:

$$P_{\max} = Sst/0.885L + 0.1t$$

$$S = 17,100 \text{ psi}$$

$$E = 0.85$$

$$t = 0.1875 \text{ in.}$$

$$L = \text{Diámetro del casquete de la chaqueta} = D_{ch} = 54.4 \text{ in.}$$

sustituyendo valores:

$$P_{\max} = 17,100 \times 0.85 \times 0.1875 / 0.885 \times 54.4 + 0.1 \times 0.1875$$

$$P_{\max} = 50.4 \text{ psig}$$

por lo que el casquete de la chaqueta tendrá el espesor de 3/16 in., - para soportar la presión del vapor.

(e).- Para el casquete superior del reactor, se usará un espesor mínimo de 1/8 de pulgada, con lo que soporta perfectamente las condiciones de trabajo del sistema.

a.- Sección de agitación del reactor.

el sistema de agitación del reactor está constituido por las siguientes partes:

Agitador de helice

Motor a prueba de explosión

Reductor de velocidad

Sello mecanico

Agitador de helice.- Este estará construido por tres hojas inclinadas, separadas 120° cada una, y su diametro está dado por la siguiente ecuación que considera el diametro óptimo para esta clase de agitador:

$$D_a = 2/3 D$$

$$\text{Diametro agitador} = 2/3 \text{ Diametro reactor}$$

por consiguiente se tiene:

$$D_a = 2/3 \times 1.280$$

$$D_a = 0.86 \text{ metros}$$

Motor a prueba de explosión.- El motor seleccionado es a prueba de explosión para evitar riesgos, ya que se manejan solventes inflamables en el reactor.

La potencia está dada por la ecuación de Olney y Carlson de la siguiente forma:

$$H.P. = \alpha L^{4.70} \eta^{2.85} \rho^{0.35} \mu^{0.15}$$

α = Parametro para agitador de helice de treshojas = 0.00007

L = Diametro del agitador = 0.86 m = 2.82 ft

η = Velocidad del agitador en rps. = 2.0

ρ = Densidad del liquido en lb/ft³ = 62.93

μ = Viscosidad del liquido lb/ft seg

La viscosidad promedio que alcanza la resina es aproximadamente 500 cps, equivalentes a 0.34 lb/ft seg.

sustituyendo los valores anteriores se tiene:

$$\text{H.P.} = 0.00007 \times 2.82^{4.70} \times 2.0^{2.85} \times 62.93^{0.85} \times 0.34^{0.15}$$

$$\text{H.P.} = 2.25 \text{ o sea que es necesario un motor de } 2 \frac{1}{4} \text{ H.P.}$$

Reductor de velocidad.- Al reductor de velocidad usado para la transmisión del movimiento del motor al agitador es del tipo de engranes, y está adaptado para graduar la velocidad de agitación.

Sello mecánico.- Para evitar fugas del reactor en la entrada de la flecha del agitador, se coloca un sello mecánico, el cual resiste a la presión de los vapores desarrollada en el interior del reactor.

F.- Sección de condensación y reflujo.

Los vapores que son producidos en el reactor, son enviados a un sistema de condensación, para que en el mismo sean refluados, y una vez que la reacción ha llegado a un punto determinado, sean enviados a un separador en donde se realiza la separación, por un lado del agua de reacción y posteriormente la separación de una cantidad determinada de butanol.

El sistema además, esta constituido por conductos de retorno al reactor, que son manejados por una serie de valvulas.

Para el cálculo de este sistema, se tienen las siguientes consideraciones:

1.- Cálculo de la cantidad de vapores que se van a condensar.

El agua y el n-butanol forman un sistema azeotrópico

heterogeneo a 92.2 °C y 1 atm. de presión, estando la composición del azeotropo dada por 75.0% en mol de agua y 25.0% en mol de n-butanol.

De acuerdo a lo anterior se tiene el siguiente cálculo:

$$x_1 = \text{fracción mol de butanol}$$

$$x_2 = \text{fracción mol de agua}$$

$$x_1 + x_2 = 1$$

$$0.25 = \text{fracción mol de butanol}$$

$$0.75 = \text{fracción mol de agua}$$

$$0.25 = M_1/74.12 / (M_1/74.12 + 82/18.0)$$

que es la relación de masas y pesos moleculares, y por consiguiente:

$$0.25 = M_1/74.12 / (M_1/74.12 + 4.556)$$

$$0.25/74.12 + 1.139/M_1 = 1/74.12$$

$$M_1 = 1.139/0.0101 = 112.77$$

O sea que, se tienen 112.77 kilogramos de butanol en la mezcla azeotrópica; combinados con 82.00 kilogramos de agua.

Al iniciarse el reflujo, la mayor parte del butanol está todavía sin reaccionar con la melamina y el formaldehído para producir las moléculas butiladas. En este inicio de la reacción, se forma el azeotropo heterogeneo entre el agua y el butanol, destilando la mayor parte del butanol y que según se calculó de acuerdo a la cantidad de agua conocida, que es de 112.77 kg. por hora, por lo tanto, el condensador se va a diseñar para manejar esta cantidad, más el agua correspondiente y por lo tanto la cantidad total será:

$$\text{agua } 82.00 \text{ kg/hr}$$

Butanol 112.77 kg/hr

Mezcla total a condensar = 194.77 kg/hr

Esta mezcla es separada despues de la condensación - en un separador, donde se tiene una temperatura de 25-30°C con objeto de que la separación sea lo más eficiente, regresando el butanol al reactor y el agua restante se deshecha.

2.- Cálculo del condensador.

Para la condensación de los vapores que se reflujan provenientes del reactor, se hará uso de un condensador de tubos tipo horizontal, el cual será enfriado por agua, y estará suspendido en la parte superior del reactor.

Primeramente se hace el cálculo del conducto de vapores del reactor al condensador de la siguiente forma:

Se puede hacer uso de la ecuación general del estado la cual permite conocer con bastante exactitud el volumen de solventes a condensar, que es el que interesa para el diseño del conducto al condensador.

$$P V = n R T$$

P = Presión a la que se produce la mezcla de vapores 1.033 kg/cm²

V = Volumen que ocupan 194.77 kg de vapores de agua y butanol (*)

(*) incognita

n = Número de moles de la mezcla de vapores 6076.9 g-mol

T = Temperatura de la mezcla gaseosa 199°F = 92.3°C = 365.5°K

R = Constante 0.08478

$$V = n R T/P$$

sustituyendo valores:

$$V = 6076.9 \times 0.08478 \times 365.5/1.033$$

$$V = 182,290 \text{ lit.} = 182.29 \text{ m}^3$$

Se tomará como velocidad de flujo la que normalmente se obtiene en la practica para vapores, y es $v = 3 \text{ m/seg}$

El gasto se encuentra que es:

$$G = V/t ; t = \text{tiempo}; G = 182.29 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.0506 \text{ m}^3/\text{seg}$$

por lo tanto:

$$G = v \times \text{area de flujo} = v \times a$$

de esta manera el area será:

$$a = G/v$$

sustituyendo valores:

$$a = 0.0506/3 = 0.0166 \text{ m}^2$$

y para calcular el diametro:

$$a = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{0.0166/3.14} = 5.3 \text{ cm}$$

por tanto:

$$D = 10.6 \text{ cm}$$

Se necesita un conducto con un diametro interno de 10.6 cm para manejar los vapores que se producen en el reactor y enviarlos al condensador.

Para calcular ahora el condensador, se supondrá un coeficiente de transmisión de calor de $60 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$, (valor tomado

del Perry, pag 481) por lo que se tienen los siguientes calculos:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (1)$$

Q = Calor a quitar de la mezcla de vapores

m = Cantidad de agua para el enfriamiento

C_p = Calor específico del agua 1 BTU/lb °F

$\Delta T = t_2 - t_1$ = diferencia de temperaturas del agua a la salida y a la entrada del condensador

$t_2 = 35 \text{ °C} = 95 \text{ °F}$ temperatura de salida

$t_1 = 22 \text{ °C} = 72 \text{ °F}$ temperatura de entrada

y para el cálculo de la cantidad de calor Q se tiene:

$$Q = \lambda_m M \quad (2)$$

λ_m = Calor latente de vaporización promedio de la mezcla de vapores = 256.8 cal/ gr = 460 BTU/lb

M = Masa de la mezcla de vapores = 194.77 kg/hr = 429.2 lb/hr

por lo que se obtiene:

$$Q = 460 \times 429.2 = 193000 \text{ BTU/hr}$$

Para calcular la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento, se despeja de la ecuación (1) como sigue:

$$m = Q / C_p (t_2 - t_1)$$

sustituyendo valores:

$$m = 193000 / 1 \times (95 - 72)$$

$m = 8400 \text{ lb/hr}$ de agua necesaria para enfriar, que equivalen a 3814 lit/hr.



Para el cálculo del área de transmisión de calor y --
del número de tubos en el condensador, se tienen los siguientes calcu-
los:

$$Q = U A \Delta T$$

$$A = Q/U \Delta T \quad (3)$$

$$Q = 193000 \text{ BTU/hr}$$

$$U = 60 \text{ BTU/hr ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$\Delta T = \text{LMTD} \times \text{Ft}$$

para el cálculo de T se tiene:

LMTD = diferencia media logaritmica de temperaturas

Ft = Factor de corrección para un paso en la coraza y dos pasos
en los tubos.

calculando Ft:

$$R = T_1 - T_2/t_2 - t_1 \quad \text{y} \quad S = t_2 - t_1/T_1 - t_1$$

$$T_1 = \text{Temperatura entrada vapores} = 92.2 \text{ }^\circ\text{C} = 199 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = \text{Temperatura salida condensado} = 92.2 \text{ }^\circ\text{C} = 199 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_1 = \text{Temperatura entrada agua} = 22 \text{ }^\circ\text{C} = 72 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_2 = \text{Temperatura salida agua} = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 95 \text{ }^\circ\text{F}$$

sustituyendo:

$$R = 199 - 199/95 - 72 = 0/23 = 0$$

$$S = 95 - 72/199 - 72 = 23/127 = 0.181$$

con estos valores se encuentra una Ft = 1 (fig 19, Kern)

calculando ahora LMTD:

$$\text{LMTD} = t_2 - t_1/2.3 \log(t_2/t_1)$$

$$t_1 = 199 - 95 = 104$$

$$t_2 = 199 - 72 = 127$$

$$LMTD = 127 - 104 / 2.3 \log (127/104)$$

$$LMTD = 116 \text{ } ^\circ\text{F}$$

y por lo tanto:

$$T = 116 \times 1 = 116 \text{ } ^\circ\text{F}$$

sustituyendo valores en (3):

$$A = 193000/60 \times 116$$

$$A = 27.7 \text{ ft}^2$$

para calcular el número de tubos se tiene:

$$n_T = \text{número de tubos} = A/L S$$

$$A = \text{Area de transmisión de calor} = 27.7 \text{ ft}^2$$

$$L = \text{longitud requerida por tubo}$$

$$S = \text{Superficie por pie lineal para tubos de } 3/4 \text{ in. BM } 16 = 0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

se supone una longitud por tubo de 4 ft. Sustituyendo:

$$n_T = 27.7/4 \times 0.1963$$

$$n_T = 34 \text{ tubos}$$

Se diseñará el condensador en arreglo cuadrangular con un paso en la chaqueta y dos pasos en los tubos, circulando los vapores por el lado de la chaqueta y el agua de enfriamiento por los tubos.

Para calcular el diametro interno de la chaqueta se usa la tabla 9 del Kern, para tubos de 3/4 in, con dos pasos, en arre-

glo cuadrangular, con pitch de 1 in y por tanto se encuentra:

$$D_i = \text{Diametro interno chaqueta} = 9 \text{ pulgadas}$$

El condensador estará provisto además de baffles -- para mejorar la turbulencia dentro de el, y estos seran del tipo segmental, cuya altura es igual al 75% del diametro interno de la chaqueta, por tanto:

$$A_b = \text{altura de los baffles} = 9 \times 0.75$$

$$A_b = 6.75 \text{ pulgadas}$$

Para calcular el número de baffles se hará uso de la relación:

$$\text{Espacio máximo entre baffles} = B = \text{Diametro interno chaqueta}$$

$B = 9$ pulg, y como la sección de tubos del condensador mide 4 ft igual a 48 pulg, se tiene que:

$$\text{Número de baffles} = 48/9 = 5.3$$

pero para más efectividad se aumentará el número en 50% por lo que finalmente se tiene:

$$\text{Número de baffles} = 5.3 \times 0.50 + 5.3 = 8$$

estos baffles iran separados cada uno 6 pulgadas en el condensador.

2.- SECCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Y PESADO DE MATERIA PRIMA

este sistema esta compuesto por dos tanques que van a almacenar el agua desmineralizada y el n-butanol necesarios para la reaccion. además cada tanque tiene su correspondiente bomba y accesorios para la dosificación de los productos al reactor.

para esta sección se tienen los siguientes calculos:

- A.- Tanque de almacenamiento de agua desmineralizada
- B.- Tanque de almacenamiento de n-butanol
- C.- Capacidad y potencia de la bomba de agua
- D.- Capacidad y potencia de la bomba de n-butanol
- E.- Báscula de pesado de materia prima

A.- Tanque de almacenamiento de agua desmineralizada

Para el diseño del tanque de agua, se concidera que este debe tener una capacidad igual al equivalente de 20 dias de trabajo, por lo que la capacidad será:

agua usada en 1 dia = 317.1 litros

Capacidad del tanque = $317.1 \times 20 = 6342$ litros (sin camara de aire)

este tanque será de tipo cilindrico vertical, y sus dimensiones son -- las siguientes:

$$D = 2 r$$

$$h = 1.5 D$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 3 \pi r^3$$

se va a tomar un 10% más del volumen en el tanque como cámara de aire.

$$\text{Volumen de diseño} = 6342 + 634 = 6976 \text{ litros } \text{O dm}^3$$

y por consiguiente:

$$6976 = 9.42 r^3$$

$$r = \sqrt[3]{6976/9.42}$$

$$r = 9.04 \text{ dm} = 0.904 \text{ metros}$$

$$D = 1.81 \text{ metros}$$

$$h = 2.71 \text{ metros}$$

y la altura a la que llegará el líquido será de 2.47 metros, con el tanque a su máxima capacidad.

Las tapas del tanque serán planas y la construcción total del tanque se hará en acero galvanizado.

B.- Tanque de almacenamiento de butanol

Este tanque tendrá una capacidad equivalente a 10 días de trabajo, por lo que se tiene:

$$\text{Butanol usado en 1 día} = 955.4 \text{ litros}$$

$$\text{Capacidad del tanque} = 955.4 \times 10 = 9554 \text{ litros (sin cámara de aire)}$$

el tanque será de tipo cilíndrico vertical, con cabezas planas y tendrá un 10% más del volumen del líquido para cámara de aire, y sus dimensiones son las siguientes:

$$D = 2 r$$

$$h = 1.66 D$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\text{Volumen de diseño} = 9554 + 955 = 10509 \text{ litros } \text{O dm}^3$$

$$10509 = 10.4248 r^3$$

$$r = \sqrt[3]{10509/10.4248}$$

$$r = 10.03 \text{ dm} = 1.004 \text{ metros}$$

$$D = 2.00 \text{ metros}$$

$$h = 3.32 \text{ metros}$$

la altura en este caso del líquido dentro del tanque será de 3.04 metros, a su máxima capacidad. El material de construcción del tanque será de acero al carbón.

C.- Capacidad y potencia de la bomba de agua.

La máxima capacidad de la bomba de agua, esta definida por la cantidad de agua a consumir dentro del periodo de fabricación de la resina, y esta equivale a 31.7 litros por minuto, pero se concide ra un 20% más como margen de seguridad, por lo tanto:

$$\text{Capacidad de la bomba de agua} = 38 \text{ litros/minuto} = 5026.8 \text{ lb/hr}$$

Para calcular la potencia se tiene:

$$\phi = \text{Diametro de la tubería}$$

$$\phi = 3/4" \text{ cedula 40 en acero galvanizado} = 0.0625 \text{ ft.}$$

$$\rho = \text{Densidad del producto} = 1.00 \text{ kg/dm}^3 = 62.36 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = \text{Eficiencia de la bomba} = 60\%$$

Calculando la velocidad del flujo en nomograma que relaciona la densidad, el diametro y la velocidad de flujo del producto se obtiene:

$$V = 6 \text{ ft/seg} = \bar{V}_a = \bar{V}_b$$

y por lo tanto usando la ecuación de Bernoulli para calcular el trabajo

efectuado por la bomba, se tiene:

$$p_a/\rho + g/gc Z_a + \bar{V}_a^2/2 \alpha_{agc} - w_s \eta = p_b/\rho + g/gc Z_b + \bar{V}_b^2/2 \alpha_{bgc} + H_f$$

el punto a en la ecuación se toma como la superficie del líquido en el tanque, y el punto b es la descarga del tubo en el reactor. La presión en ambos puntos es la atmosférica, o sea $p_a = p_b$.

La velocidad del fluido en el punto a es despreciable, debido a el gran diametro del tanque, comparado con el del tubo. El factor α de energía cinética, será tomado igual a la unidad. La altura Z_b que es la altura de la descarga, se tomará a partir de la mitad de la altura que alcanza el líquido en el tanque, conciderando que siempre se va a volver a llenar el tanque, cuando está a media capacidad, y por lo tanto $Z_b = 2.55$ metros = 8,3 ft, de esta forma la ecuación se reduce a la siguiente forma:

$$-w_s \eta = g/gc Z_b + \bar{V}_b^2/2gc - H_f$$

sustituyendo valores:

$$-0.60 w_s = 8.36 + 0.559 + H_f$$

$$-0.60 w_s = 8.919 + H_f$$

El factor H_f o perdidas por fricción es calculado en la siguiente forma:

$$H_f = f V^2 L / 2 gc d$$

el factor de fricción f o de Fanning, es función del número de Reynolds y para flujo turbulento, se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$f = 0.00140 + 0.125/N_{Re}^{0.32}$$

y para calcular el número de Reynolds, se tiene:

$$N_{re} = D V \rho / \mu$$

$$D = \text{Diámetro de tubería} = 0.0625 \text{ ft}$$

$$V = \text{Velocidad del fluido} = 6 \text{ ft/seg}$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} = 62.36 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = \text{Viscosidad del fluido} = 0.000672 \text{ lb/ft-seg}$$

sustituyendo valores:

$$N_{re} = 0.0625 \times 6 \times 62.36 / 0.000672$$

$$N_{re} = 34903 \text{ cuyo valor equivale a flujo turbulento}$$

sustituyendo este valor para encontrar el factor de Fanning:

$$f = 0.00140 + 0.125 / 34903^{0.32}$$

$$f = 0.00575$$

La longitud que se relaciona en la ecuación de H_f , -
se encuentra sumando la longitud total a la longitud equivalente:

$$L = L_t + L_e$$

$$L_t = 9.09 \text{ metros} = 29.82 \text{ ft}$$

y la longitud equivalente será:

$$L_{\text{equivalente 3 valvulas de globo}} = 28 \times 3 = 84 \text{ ft}$$

$$L_{\text{equivalente T de } 90^\circ} = 1.7 \text{ ft}$$

$$L_{\text{equivalente 3 codos de } 90^\circ \text{ std}} = 2.6 \times 3 = 7.8 \text{ ft}$$

$$L_{\text{equivalente valvula check}} = 6.3 \text{ ft}$$

$$L_{\text{equivalente rotámetro}} = 14.7 \text{ ft}$$

de esta forma:

$$L = 29.82 + 84.00 + 1.70 + 7.80 + 6.30 + 14.70$$

$$L = 144.32 \text{ ft}$$

por último el diametro interno de la tubería de 3/4" ced 40 es 0.0687 ft.

sustituyendo valores en la ecuación de perdidas por fricción se tiene:

$$H_f = 0.00575 \times 6^2 \times 144.32 / 2 \times 32.174 \times 0.0687$$

$$H_f = 6.75$$

todos los valores obtenidos se sustituyen en la ecuación de Bernoulli condensada, para obtener el valor de w_s :

$$- 0.6 w_s = 8.919 + 6.75$$

$$- w_s = 26.12$$

La potencia que requiere la bomba, es calculada por la ecuación siguiente:

$$P = - w w_s / 550$$

$$w = \text{capacidad de la bomba} = 1.39 \text{ lb/seg}$$

$$P = 1.39 \times 26.12 / 550$$

$$P = 0.066$$

por lo que se hará uso de un motor de 0.1 HP para efectuar el trabajo de la bomba.

Tomando ahora la misma ecuación de Bernoulli para calcular el trabajo que hace la bomba, se considerará a el punto 'a' en la succión y el punto 'b' en la descarga de la misma bomba, por lo que se concidera la altura de los dos puntos igual y la ecuación queda:

$$p_a/\rho + \bar{V}_a^2/2gc - w_s\eta = p_b/\rho + \bar{V}_b^2/2gc$$

de donde:

$$p_b - p_a / \rho = \bar{V}_a^2 - \bar{V}_b^2 / 2gc - w_s\eta$$

y la diferencia $p_b - p_a$ es la presión desarrollada por la bomba, por lo tanto:

$$p_b - p_a = (\bar{v}_a^2 - \bar{v}_b^2) / 2gc - w_s \eta$$

y como las velocidades en la succión y en la descarga se pueden tomar como iguales, la ecuación se reduce a:

$$p_a - p_b = - w_s \eta$$

sustituyendo los valores que se tienen:

$$p_a - p_b = 26.12 \times 0.60 \times 62.36$$

$$p_a - p_b = 977.13 \text{ lb/ft}^2$$

U.- Capacidad y potencia de la bomba de n-butanol.

La capacidad de la bomba está fijada por la cantidad de n-butanol a consumir en cada periodo de fabricación de resina, sien do la máxima cantidad 33.1 litros por minuto, pero tambien se va a con siderar un 20% más como margen de seguridad:

$$\text{Capacidad de la bomba de n-butanol} = 45.7 \text{ litros/minuto} = 4836.6 \text{ lb/hr}$$

Para el calculo de la potencia se tienen los sigui--
entes datos:

$$\phi = \text{Diametro de la tubería } 3/4'' \text{ ced } 40 \text{ acero al carbón} = 0.0625 \text{ ft}$$

$$\rho = \text{densidad del producto} = 0.81 \text{ kg/dm}^3 = 50.5 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = \text{eficiencia de la bomba} = 60\%$$

$$v = \text{Velocidad del flujo (nomograma)} = 7.0 \text{ ft/seg} = \bar{v}_a = \bar{v}_b$$

Tomando las mismas consideraciones de el calculo de la bomba anterior, se tiene:

$$p_a = p_b$$

$$Z_b = \text{altura de la descarga} = 2.265 \text{ metros} = 7.43 \text{ ft}$$

y se hará uso de la siguiente ecuación:

$$- N_s \eta = g/gc Z_b + \bar{V}^2 / 2gc + H_f$$

para calcular H_f ó pérdidas por fricción:

$$H_f = f V^2 L / 2 gc D$$

y lo mismo para calcular el factor de Fanning f :

$$f = 0.00140 + 0.125 / N_{Re}^{0.32}$$

y para calcular el número de Reynolds:

$$D = 3/4" = 0.0025 \text{ ft}$$

$$V = 7 \text{ ft/seg}$$

$$\rho = 50.5 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 3 \text{ cps} = 0.002016 \text{ lb/ft-seg}$$

$$N_{Re} = 0.0625 \times 7 \times 50.5 / 0.002016$$

$$N_{Re} = 10959 \text{ que equivale a flujo turbulento}$$

sustituyendo en el factor de fricción:

$$f = 0.00140 + 0.125 / 10959^{0.32}$$

$$f = 0.0077$$

calculando ahora la longitud equivalente:

$$L \text{ equivalente 3 valvulas de globo} = 28 \times 3 = 84 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente T de } 90^\circ = 1.7 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente 2 codos de } 90^\circ \text{ std} = 2.6 \times 2 = 5.2 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente valvula check} = 6.3 \text{ ft}$$

La equivalente rotámetro = 14.7 ft

La longitud total de la tubería es de 6.785 mt = 22.26 ft

Por lo que la longitud final queda:

$$L = 22.26 + 84.00 + 1.70 + 5.20 + 6.30 + 14.70$$

$$L = 134.16 \text{ ft}$$

por último el diametro interno de tubería de 3/4" ced 40 es 0.0687 ft

sustituyendo valores en la ecuación de perdidas por

fricción:

$$H_f = 0.0077 \times 7^2 \times 134.16 / 2 \times 32.174 \times 0.0687$$

$$H_f = 11.43$$

sustituyendo en la ecuación de Bernoulli condensada:

$$- 0.6 \text{ ms} = 7.43 + 0.7615 + 11.43$$

$$- \text{ms} = 32.735$$

La potencia de la bomba será:

$$P = - w \text{ ms} / 550$$

$$w = \text{capacidad de la bomba} = 1.36 \text{ lb/seg}$$

$$P = 1.36 \times 32.735 / 550$$

$$P = 0.081$$

por lo que se selecciona un motor de 0.1 HP para efectuar el trabajo de la bomba.

La presión efectuada por la bomba, está dada también

por la ecuación:

$$p_b - p_a = - w \eta$$

por lo tanto:

$$pb - pa = 32.785 \times 0.60 \times 50.5$$

$$pb - pa = 993.41 \text{ lb/ft}^2$$

E.- Báscula de pesado de materia prima.

Para el pesado de los demás componentes de la fabricación como son las soluciones de hidroxido de sodio, ácido fórmico, - así como el monofosfato de sodio y la melamina, se usará una báscula - con divisiones mínimas de 100 gramos, marca Fairbanks Morse modelo PA-100 con capacidad de 100 kgs, y para facilidad en el pesado consta de una caratula tipo reloj, así como una plataforma de 60 x 80 cm para colocar los materiales a pesar.

3.- SECCION DE FILTRADO Y ENVASADO DEL PRODUCTO TERMINADO

Esta sección manejará el producto terminado hasta de jarlo listo para su uso, y esta compuesta por las siguientes partes:

- A.- bomba para manejo de producto terminado
- B.- Filtro de hojas tipo Sparkler
- C.- Báscula para pesado de producto terminado

A.- bomba para manejo de producto terminado.

Según la capacidad máxima de producción, una vez que ha quedado la resina terminada, se tienen en el reactor aproximadamente +1208.3 litros de la misma, y tomando un 20% como margen de seguridad para la capacidad de la bomba en el tiempo de vaciado de la resina especificado anteriormente, se tiene que:

Capacidad de la bomba de resina terminada = 48.4 litros/minuto

Para el cálculo de la potencia se tienen las siguientes consideraciones:

ϕ = Diametro de la tuberia = 1.5" Csd 40 S en acero inoxidable =
= 0.12499 ft.

ρ = Densidad del producto = 1.008 kg/dm³ = 62.93 lb/ft³

μ = eficiencia de la bomba = 60%

La velocidad del flujo calculada en nomograma es;

$V = 2$ ft/seg

Considerando tambien que $p_a = p_b =$ presión atmosférica

La velocidad del liquido dentro del reactor se con--

cidera despreciable debido a su gran diametro, comparado con el del tubo, por lo que $\bar{V}_a = 0$.

La altura de la descarga en el punto b es igual a 0, tomando como plano de referencia el punto b, por lo que $Z_b = 0$, y por consiguiente la altura del punto a, es igual a la altura del tubo de descarga del reactor menos la altura que alcanza el tubo de descarga de la bomba, además, se concidera que la bomba va a realizar el máximo trabajo una vez que el reactor está casi vacío, por lo tanto:

$$Z_a = 0.20 \text{ metros} = 0.65 \text{ ft}$$

Por la concideraciones anteriores, la ecuación de Bernoulli se reduce a la siguiente forma:

$$g/gc Z_a - w_s \eta = V_b^2/2gc + H_f$$

calculando ahora H_f :

$$H_f = f V^2 L / 2gc d$$

pero $f =$ factor de Fanning para flujo laminar $= 16/N_{Re}$

para el número de Reynolds se tiene:

$$N_{Re} = D V \rho / \mu$$

con una viscosidad de la resina de 0.34 lb/ft-seg:

$$N_{Re} = 0.12499 \times 2 \times 62.93 / 0.34$$

$$N_{Re} = 46.3$$

por lo que para f se obtiene:

$$f = 16/46.3$$

$$f = 0.346$$

Para calcular la longitud equivalente se tiene:

$$L \text{ equivalente } 7 \text{ codos } 90^\circ \text{ std} = 5.1 \times 7 = 35.7 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente } 1 \text{ válvula de globo} = 50 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente } 1 \text{ válvula de compuerta} = 1.2 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente } 1 \text{ T de } 90^\circ = 3.5 \text{ ft}$$

$$L \text{ equivalente filtro} = 63 \text{ ft}$$

y la longitud de la tubería es de 10.75 metros = 35.27 ft

por lo tanto:

$$L = L \text{ tubería} + L \text{ equivalente}$$

$$L = 35.27 + 153.40$$

$$L = 188.67 \text{ ft}$$

por último, el diámetro interno de tubería de acero inoxidable Ced 40S de 1.5" es $d = 0.1342 \text{ ft}$.

sustituyendo en H_f :

$$H_f = 0.346 \times 2^2 \times 188.67/2 \times 32.164 \times 0.1342$$

$$H_f = 30.0$$

sustituyendo en la ecuación condensada de Bernoulli:

$$0.65 - 0.6 \text{ ws} = 2^2/2 \times 32.174 - 30.0$$

$$- \text{ws} = 0.0621 + 29.35 / 0.6$$

$$- \text{ws} = 49.7$$

por lo tanto la potencia sefa:

$$P = 1.8 \times 49.7/550$$

$$P = 0.16$$

por lo que se requiere de un motor con una potencia de 0.2 HP para --- hacer trabajar la bomba.

La presión efectuada por la bomba está dada por la ecuación:

$$p_b - p_a = - \rho s \eta$$

sustituyendo valores:

$$p_b - p_a = 49.7 \times 0.6 \times 62,93$$

$$p_b - p_a = 1878 \text{ lb/ft}^2$$

B.- Filtro de hojas tipo Sparkler.

La resina una vez que se ha terminado de fabricar, se pasa a travez de un filtro con objeto de eliminar cualquier impureza que hubiera; aunque las materias primas con que se fabrica la resina son de una alta pureza.

El filtro seleccionado es del tipo de platos marca - Sparkler, y sus características son las siguientes:

Modelo: 18 S 23

Area de filtración: 37.26 ft²

Capacidad: 48.4 litros/minuto (a manejar)

Disposición: Platos horizontales en acero al carbón

Número de platos: 23 (con papel ó lona)

Diámetro del filtro: 18 pulgadas

Altura del filtro: 25 pulgadas

Capacidad de retención de sólidos: 1.36 ft³

Dispositivo de placa de barrido

El filtro podrá manejar la resina caliente o bien a temperatura ambiente en donde alcanza una viscosidad de 500 cps.

C.- Báscula para pesado de producto terminado.

Para pesar el producto terminado en los tambores de envase, se usará una bascula marca Fairbanks Morse modelo PA-250, con divisiones minimas de 250 gramos, con una caratula de registro tipo reloj y con una plataforma de 60 x 80 cm y que será colocada a nivel del piso para facilidad de colocación y retiro de los tambores.

4.- SECCION DE PRODUCCION DE VAPOR Y AGUA DE ENFRIAMIENTO

El calor necesario para llevar a cabo la reacción en el reactor, será proporcionado por el vapor producido en una caldera.

El agua de enfriamiento del condensador, así como el agua para enfriar la chaqueta del reactor, será proporcionada por una torre de enfriamiento.

Esta sección consta de las siguientes partes:

A.- Caldera

B.- Bomba para recirculación de agua de enfriamiento

C.- Torre de enfriamiento

A.- Caldera.

Para suministrar el vapor de calentamiento, se hará uso de una caldera del tipo de tubos de humo, la cual producirá vapor casi instantáneamente. Esta caldera de la marca Clayton, tendrá una capacidad de generación de vapor de 1333 kg/hr = 2939 lb/hr, a una presión de trabajo de 3.5 - 4.0 kg/cm².

B.- Bomba para recirculación de agua de enfriamiento

Para el agua de enfriamiento que se va a usar en la planta, se van a tomar dos consideraciones:

1.- El agua que se necesita para enfriar el condensador y que es igual a 3814 lit/ hr ó 8400 lb/hr.

2.- El agua que se necesita para enfriar la chaqueta del reactor y que de acuerdo al inciso D (Capitulo: Características -

de Operación de la planta), se necesitan quitar 96609 kcal/hr, por lo tanto la cantidad de agua será:

$$m = Q_3 / C_p \Delta T$$

$$Q_3 = 96609 \text{ kcal/hr}$$

$$C_p = 1$$

$$\Delta T = (35 - 22) = 13$$

sustituyendo:

$$m = 96609/1 \times 13 = 7420 \text{ kg/hr} = 16361 \text{ lb/hr}$$

Por lo tanto para el diseño del sistema de enfriamiento, que incluye a la bomba y a la torre, se tomará como base la máxima capacidad de agua necesaria para enfriar y que corresponde a la chaqueta del reactor; pudiendo ser regulada para dar la capacidad menor que requiere el condensador.

al agua necesaria para efectuar el enfriamiento, será proporcionada por una bomba de tipo centrífuga, y de acuerdo a la cantidad de agua a manejar ya calculada, esta tendrá una capacidad de 7420 lit/hr = 124 lit/minuto.

Para el cálculo de la potencia se tiene:

$$\phi = \text{diámetro de tubo} = 1 \frac{1}{2}'' \text{ Céd. 40 acero al carbón} = 0.125 \text{ ft}$$

$$\rho = \text{densidad del agua} = 1.0 \text{ kg/dm}^3 = 62.30 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = \text{eficiencia de la bomba} = 60 \%$$

La velocidad del flujo se calcula en nomograma, de acuerdo a la densidad, el diámetro y la velocidad de flujo del producto, obteniendo:

$$V = 5 \text{ ft/seg} = \bar{V}_a = \bar{V}_b$$

Para calcular el trabajo efectuado por la bomba, es usada la ecuación de Bernoulli:

$$p_a/\rho + g/gc Z_a + \bar{V}_a^2/2\alpha agc - w_s' \gamma = p_b/\rho + g/gc Z_b + \bar{V}_b^2/2\alpha bgc + H_f$$

El punto a es tomado como la superficie del líquido en el depósito de la torre de enfriamiento, y el punto b es a la salida del condensador. $p_a = p_b$ por ser igual a la atmosférica.

La velocidad del líquido en el punto a se desprecia ya que el diámetro del depósito de la torre es muy grande comparado con el del tubo. El factor α se toma igual a la unidad. La altura Z_b es la altura de la descarga, tomando como nivel la superficie del agua en el depósito de la torre y por tanto $Z_b = 4.585 \text{ mts} = 15.04 \text{ ft}$.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, la ecuación de Bernoulli se reduce a la siguiente forma:

$$-w_s' \gamma = g/gc Z_b + \bar{V}_b^2/2gc + H_f$$

el factor H_f es calculado por la ecuación:

$$H_f = f \frac{V^2 L}{2gc d}$$

el factor de fricción f o de Fanning se calcula en función del número de Reynolds, y en este caso para flujo turbulento de la siguiente forma:

$$f = 0.00140 + 0.125/N_{Re}^{0.32}$$

calculando entonces el número de Reynolds:

$$N_{Re} = D V \rho / \mu$$

$$D = \text{Diámetro de la tubería} = 0.125 \text{ ft}$$

$V =$ Velocidad del fluido = 5 ft/seg

$\rho =$ Densidad del fluido = 62.36 lb/Ft³

$\mu =$ Viscosidad del fluido = 0.000672 lb/ft-seg

$Re = 0.125 \times 5 \times 62.36 / 0.000672$

$Re = 62500$ que equivalen a flujo turbulento

sustituyendo este valor en el factor de Fanning:

$f = 0.00140 + 0.125/62500^{0.32}$

$f = 0.00504$

Para calcular la longitud L de la ecuación de H_f , se tiene la suma de la longitud total más la longitud equivalente:

$L = L_t + L_e$

$L_t = 11.585$ metros = 38.01 ft

y la longitud equivalente será:

L equivalente 3 valvulas de globo = $42 \times 3 = 126$ ft

L equivalente 3 codos de 90° std = $4.4 \times 3 = 13.2$ ft

L equivalente rotámetro = 14.7 ft

L equivalente válvula check = 11 ft

de esta forma:

$L = 38.01 + 126.00 + 13.20 + 14.70 + 11.00$

$L = 202.91$ ft

finalmente el diametro interno de la tubería de 1 1/2" Ced 40 es de --
0.1142 ft.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación de perdidas por fricción se tiene:

$$H_f = 0.00504 \times 5^2 \times 202.91/2 \times 32.174 \times 0.1142$$

$$H_f = 3.486$$

sustituyendo estos valores en la ecuación de Bernoulli condensada se tiene:

$$-0.6 \text{ m/s}^2 = 15.04 + 5^2/2 \times 32.174 + 3.486$$

$$- \text{m/s}^2 = 31.5 \text{ ft}$$

Por otra parte, la caída de presión que se obtiene - debido al condensador, se toma en cuenta para el cálculo de la potencia de la bomba, por consiguiente se tiene el siguiente cálculo:

Caida de presión en los tubos:

$$P_t = f Gt^2 L n / 5.22 \times 10^{10} D S \phi t$$

Caida de presión en el retorno de los tubos:

$$P_r = (4 n/s) (V^2/2 g) (62.5/144)$$

f = factor de fricción $f(N_{Re})$

Gt = Gasto masa = w/At

L = Longitud de los tubos = 4 ft

n = Número de pasos = 2

D = Diametro interior de los tubos = 0.0517 ft

S = Gravedad especifica del agua = 1

$\phi t = (\mu/\mu_w)^{0.14} = \text{aproximadamente } 1$

w = Cantidad de agua para enfriar = 16361 lb/hr = 7420 lit/hr

$At = Nt \text{ at}/n$

Nt = Número de tubos = 34

$$a_t = \text{Area de flujo de la sección transversal por tubo} = \\ = 0.0021 \text{ ft}^2$$

$$\mu = \text{Viscosidad del agua} = 2.316 \text{ lb/hr ft}$$

sustituyendo valores en las ecuaciones:

$$a_t = 34 \times 0.0021/2$$

$$a_t = 0.0357 \text{ ft}^2$$

$$G_t = 16361/0.0357$$

$$G_t = 457500$$

para el número de Reynolds:

$$Re = D G_t / \mu$$

$$Re = 0.0517 \times 457500 / 2.316$$

$$Re = 10200 \text{ (flujo turbulento)}$$

por lo tanto el factor f calculado en tablas es:

$$f = 0.00027$$

sustituyendo los valores obtenidos en las ecuaciones de pérdidas de --
presión:

$$P_t = 0.00027 \times 457500^2 \times 4 \times 2/5.22 \times 10^{10} \times 0.0517 \times 1 \times 1$$

$$P_t = 0.17 \text{ lb/in}^2$$

$$Pr = 4n/s \ V^2/2g \ (62.5/144)$$

$V^2/2g \ (62.5/144)$ es función del G_t y por la fig 27 pag 837, Kern
se obtiene:

$$V^2/2g \ (62.5/144) = 0.028$$

sustituyendo valores:

$$Pr = 4 \times 2/1 \ (0.028)$$

$$Pr = 0.224 \text{ lb/in}^2$$

y por tanto la caída de presión total es:

$$PT = Pt + Pr = 0.17 + 0.224$$

$$PT = 0.394 \text{ lb/in}^2 = 56.85 \text{ lb/ft}^2$$

y se tiene que:

$$- \dot{w}_s'' = PT/\rho\eta$$

$$\rho = 62.36 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = 60\%$$

$$- \dot{w}_s'' = 56.85/62.36 \times 0.6$$

$$- \dot{w}_s'' = 1.52 \text{ ft}$$

sumando al valor de $- \dot{w}_s$ obtenido anteriormente, se tiene finalmente:

$$- \dot{w}_s' - \dot{w}_s'' = - \dot{w}_s$$

$$- \dot{w}_s = 31.50 + 1.52$$

$$- \dot{w}_s = 33.02 \text{ ft}$$

La potencia requerida por la bomba se calcula por la siguiente ecuación:

$$P = - w \dot{w}_s/550$$

$$w = \text{capacidad de la bomba} = 4.54 \text{ lb/seg}$$

$$P = 4.54 \times 33.02/550$$

$$P = 0.272$$

Por lo que se hará uso de un motor de 1/3 de HP para hacer el trabajo de la bomba.

La presión total efectuada por la bomba es por consiguiente:

$$P_b - P_a = - \rho g \eta \rho$$

$$P_b - P_a = 33.02 \times 0.6 \times 62.36$$

$$P_b - P_a = 1236 \text{ lb/ft}^2$$

C.- Torre de enfriamiento.

Para el suministro de agua de enfriamiento a la planta, se selecciona una torre de enfriamiento marca Marley, la cual dará la capacidad requerida para enfriar el condensador y el reactor. Las características de operación y de diseño de la torre son las siguientes:

Capacidad: 7420 lts/hr = 124 lts/minuto

Temperaturas de operación:

Temperatura de admisión de agua 35°C

Temperatura de salida de agua enfriada 22°C

Temperatura de bulbo húmedo 16.6°C

Motor de 3 HP a prueba de goteo con bandas en V y ventilador de 36".

Material de construcción:

Interior o relleno de PVC

Exterior de triply marino

Soportes metálicos galvanizados

Altura de bombeo: 1.60 mts

Altura total: 1.75 mts

Ancho: 1.31 mts

Largo: 1.89 mts

Nivel de agua: 10 cm

Descarga para sobreflujo: 23 cm

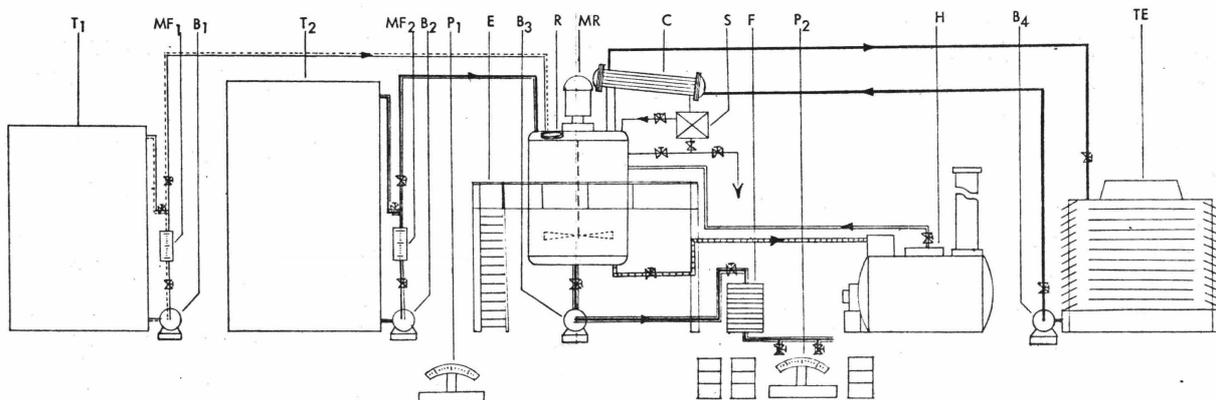
Peso Neto: 350 kgs

SECCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y PESADO DE MATERIA
PRIMA

SECCION DE REACCION
CONDENSACION Y REFLUJO

SECCION DE FIL-
TRADO Y ENVA-
SADO DE PRODUC-
TO TERMINADO

SECCION DE PRODUCCION DE VAPOR Y AGUA
DE ENFRIAMIENTO



- T₁ TANQUE DE AGUA
- T₂ TANQUE DE BUTANOL
- R REACTOR
- C CONDENSADOR
- S SEPARADOR
- F FILTRO
- H CALDERA
- TE TORRE DE ENFRIAMIENTO
- P₁ BASCULA DE PESADO DE MATERIA PRIMA
- P₂ BASCULA DE PESADO DE PRODUCTO TERMINADO
- MR MOTERREDUCTOR

- B₁ BOMBA PARA AGUA
- B₂ BOMBA PARA BUTANOL
- B₃ BOMBA PARA RESINA
- B₄ BOMBA AGUA DE ENFRIAMIENTO
- MF₁ MEDIDOR DE FLUJO PARA AGUA
- MF₂ MEDIDOR DE FLUJO PARA BUTANOL

- AGUA
- ===== BUTANOL
- ===== REFLUJO
- ===== VAPOR
- ===== CONDENSADO
- ===== AGUA DE ENFRIAMIENTO
- ===== RESINA TERMINADA

DIAGRAMA DE LA PLANTA

FACULTAD DE
QUIMICA

ESCALA:

UNAM

CAPITULO X

ESTUDIO ECONOMICO

En el presente capítulo se desarrolla el cálculo -- económico basado en el equipo de que consta la planta, así como las -- condiciones de operación de la misma. Además se determina la viabili-- dad económica de operación de la planta, con objeto de saber si con-- viene hacer la inversión e instalación para empezar a fabricar la resi-- na.

El capítulo está dividido en los siguientes puntos:

1.- COSTO TOTAL DEL EQUIPO

2.- CAPITAL DE INVERSION

3.- COSTO TOTAL DE PRODUCCION

4.- RENTABILIDAD Y PUNTO DE EQUILIBRIO

1.- COSTO TOTAL DEL EQUIPO

Para el cálculo del costo total del equipo, este se divide en cuatro grupos principales:

- A) Equipo de proceso
- B) Equipo de manejo y almacenamiento de materia prima
- C) Equipo de manejo y almacenamiento de producto terminado
- D) Equipo de producción de servicios

Para cada uno de estos grupos se tienen los siguientes costos:

A) Equipo de proceso

a) Reactor enchaquetado de acero inoxidable	\$ 80,000.00	(1)
b) Motorreductor a prueba de explosión con agitador	8,000.00	(2)
c) Condensador con accesorios	25,500.00	(3)
d) Separador con accesorios	4,500.00	(3)
e) Estructura	20,000.00	(4)
COSTO TOTAL DEL EQUIPO DE PROCESO	-----	138,000.00

B) Equipo de manejo y almacenamiento de materia prima

a) Tanque de almacenamiento de agua	6,000.00	(5)
b) Tanque de almacenamiento de butanol	8,400.00	(5)
c) Bomba para dosificación de agua	2,900.00	(6)
d) Bomba para dosificación de butanol	2,900.00	(6)

e) Botametros (2)	4,160.00 (7)
f) Tuberia	366.00 (8)
g) Conexiones (7 codos, 2 T)	304.00 (8)
n) Valvulas (3 globo, 2 check)	6,588.00 (8)
i) Báscula de pesado de materia prima	12,000.00 (6)
COSTO TOTAL DEL EQUIPO PARA MATERIA PRIMA	43,618.00

C) Equipo de manejo y almacenamiento de producto ter

minado

a) Filtro Sparkler mod 18 s 23	29,000.00 (9)
b) Bomba de engranes	3,500.00 (6)
c) Báscula de pesado de producto terminado	12,000.00 (6)
d) Conexiones (7 codos, 1 T)	312.00 (8)
e) Valvulas (1 globo, 2 compuerta)	4,967.00 (8)
f) Tuberia	3,763.00 (8)
COSTO TOTAL DEL EQUIPO PARA PRODUCTO TERMINADO	53,542.00

D) Equipo de producción de servicios

a) Caldera	190,000.00 (10)
b) Torre de enfriamiento	15,200.00 (11)
c) bomba para recirculación de agua de enfria miento	6,000.00 (6)
d) Tuberia	695.00 (8)
e) Conexiones (6 codos)	180.00 (8)

f) Valvulas (4 globo, 1 check) 8,926.00 (8)

COSTO TOTAL DEL EQUIPO DE PRODUCCION DE

SERVICIOS ----- 221,001.00

COSTO TOTAL DEL EQUIPO ----- \$ 456,161.00

Los costos anteriores se han obtenido de información directa de los fabricantes proporcionando todas las características de cada uno de los equipos. Los fabricantes son los siguientes:

- (1) Pfaudler Permutit S.A. de C.V.
- (2) Eva Mex, S.A.
- (3) C S R de México, S.A.
- (4) Industrias Metalicas Fenser, S.A.
- (5) Constructora Metálica, S.A.
- (6) Manufacturera Fairbanks Morse, S.A.
- (7) Fisher and Porter de México, S.A.
- (8) Aceros Tubulares, S.A.
- (9) Sparkler de México, S.A.
- (10) Sociedad Electromecanica, S.A. de C.V.
- (11) Marley de México, S.A.

2.- CAPITAL DE INVERSION

A.- Capital fijo

B.- Capital de trabajo

A.- El capital fijo está desglosado en la siguiente

forma:

Costo total del equipo (a)	456,161.00
Instalación del equipo (35% del costo a) *	159,659.00
Instalación eléctrica (15% del costo a) *	68,424.00
Construcción del edificio (oficina, bodega, 30% del costo a) *	136,848.00
Mejoras del terreno (10% del costo a) *	45,616.00
Terreno (500 m ²)	50,000.00
Fletes (12% del costo a) *	54,739.00
Imprevistos (20% del costo a) *	91,232.00
CAPITAL FIJO	\$ 1'062,676.00

*Peters-Cost estimation

*Schweyer-Engineering Economics

B.- El capital de trabajo es el siguiente:

B₁) Se tendrá un inventario de materia prima estimado de la manera siguiente, para 30 días de trabajo:

PRODUCTO	TIEMPO	Kg/Día	Kg/Mes	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
Paraformaldehido	30 días	377,100	11313.00	4.30	48,645.90
Butanol	10 días	773.900	7739.00	6.50	50,303.50
Melamina	30 días	239.900	7197.00	10.00	71,970.00
Sosa al 20%	30 días	0.926	27.78	0.36	10.00
Acido fórmico 5%	30 días	6.000	180.00	0.35	63.00
Monofosfato de Sodio	30 días	0.686	20.58	4.00	82.32

Total de materia prima - - - - - \$171,074.72

B₂) el inventario de producto en proceso para un día de trabajo será el siguiente:

PRODUCTO	TIEMPO	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
Paraformaldehido	1 día	4.30	1,621.53
Butanol	"	6.50	5,030.35
Melamina	"	10.00	2,399.00
Sosa al 20%	"	0.36	0.33
Acido fórmico al 5%	"	0.35	2.10
Monofosfato de sodio	"	4.00	2.74

Total de producto en proceso \$ 9056.05

B₃) el inventario de producto terminado en bodega -- será para 30 días:

PRODUCTO	Kg/Día	Kg/30 días	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
Paraformaldehido	377.100	11313.00	4.30	48,645.90
Butanol	773.900	23217.00	6.50	150,910.50
Melamina	239.900	7197.00	10.00	71,970.00
Sosa al 20%	0.926	27.78	0.36	10.00
Acido formico al 5%	6.000	180.00	0.35	63.00
Monofosfato de sodio	0.686	20.58	4.00	82.32

Total de producto terminado - - - - \$ 271,681.72

B₄) Capital requerido para salarios de personal.

Ing. químico supervisor	\$ 4,000.00/mes
Cuatro obreros (2 turnos) (\$45.00/día c/u)	\$ 5,400.00/mes

Total de salarios - - - - - \$ 9,400.00

CAPITAL DE TRABAJO \$ 461,212.49 .

Por lo que finalmente el capital de inversión será:

CAPITAL DE INVERSION = CAPITAL FIJO + CAPITAL DE TRABAJO

CAPITAL DE INVERSION = 1'062,676.00 + 461,212.49

= \$ 1'523,888.49

3.- COSTO TOTAL DEL PRODUCTO

Los gastos relacionados directamente con la manufactura del producto ó con el equipo existente en la planta, son los gastos totales para calcular el costo total del producto, que se divide de la manera siguiente:

A.- COSTO DE FABRICACION

B.- GASTOS GENERALES

A.- COSTO DE FABRICACION. Este se divide en las siguientes partes:

A₁ .- Gastos variables

A₂ .- Gastos fijos

A₁.- Gastos variables. Estos gastos estan conciderados en la siguiente forma:

Se tomará como base la producción de la planta en su etapa de iniciación, que corresponde a lotes de 1445 kilogramos, trabajando 260 dias por año, por lo tanto:

a).- Materia Prima

(continua en la siguiente hoja)

PRODUCTO	Kg/día	Kg/año	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
Paraformaldehido	317.90	82654.0	4.30	355,412.20
Butanol	652.40	169624.0	6.50	1'102,556.00
Melamina	202.50	52650.0	10.00	526.500.00
Sosa al 20%	0.78	203.0	0.36	73.08
Acido formico al 5%	5.07	1318.0	0.35	461.30
Monofosfato de sodio	0.58	150.8	4.00	603.20

Costo total de materia prima anual \$ 1'985,605.78

b).- Mano de obra \$ 64,800.00

c).- Supervisión \$ 48,000.00

d).- Mantenimiento (2% sobre capital fijo) \$21,254.00

e).- Servicios de la planta:

Costos de electricidad. Para este cálculo se toman en cuenta los diferentes equipos electricos de la planta.

Potencia del motor del agitador: 2.25 HP = 1.68 KW

Horas de trabajo del agitador: 14 hrs/día

Potencia consumida por día: 14 x 1.68 = 23.52 Kw-Hr

Potencia del motor de la bomba de agua: 0.1 HP = 0.075 KW

Horas de trabajo de la bomba de agua: 0.17 Hrs/día

Potencia consumida por día: 0.17 x 0.075 = 0.013 Kw-Hr

Potencia del motor de la bomba de butanol: 0.1 HP = 0.075 KW

Horas de trabajo de la bomba de butanol: 0.5 Hrs/día

Potencia consumida por día: 0.5 x 0.075 = 0.038 Kw-Hr

Potencia del motor de la bomba de resina: 0.2 HP = 0.15 KW

Horas de trabajo de la bomba de resina; 0.5 Hrs/día

Potencia consumida por día: $0.5 \times 0.15 = 0.075 \text{ Kw-Hr}$

Potencia del motor bomba agua enfriamiento: $0.33 \text{ HP} = 0.25 \text{ Kw}$

Horas de trabajo de la bomba de enfriamiento: 8.75 Hrs/día

Potencia consumida por día: $8.75 \times 0.25 = 2.188 \text{ Kw-Hr}$

Total de energía eléctrica consumida por día en la planta =

25.834 Kw-Hr

Energía total consumida en un año de trabajo = $25.834 \times 260 =$

6716.84 Kw-Hr

Costo por Kw-Hr = ₡ 0.55

Costo total de electricidad por año = ₡ 3,694.26

Costo de combustible de la caldera. Para el modelo usado se tiene un costo de consumo de petróleo pesado de ₡ 17.00/Hr

Tiempo de funcionamiento de la caldera: 11 Hrs/día

Costo por día de combustible; ₡ 187.00

Costo por año de combustible: ₡ 48,620.00

Imprevistos: ₡ 5,000.00

Costo total de los servicios de la planta por año: ₡ 57,314.26

TOTAL DE GASTOS VARIABLES: ₡ 2'176,974.04

A₂.- Gastos fijos.

a).- Depreciación anual.- El valor de recuperación de capital por depreciación está calculado por la ecuación:

$$R = Si (1 + i)^t / (1 + i)^{t-1}$$

R = Depreciación anual

$K =$ Inversión fija = \$ 1'062,676.00

$i =$ Interés anual = 12%

$t =$ Tiempo de depreciación = 10 años

por lo tanto:

$$R = 1'062,676.00 \times 0.12 (1+0.12)^{10} / (1+0.12)^{10-1}$$

$$R = 188,200.00$$

b).- Impuestos (3% de capital fijo)* = 31,880.00

c).- Seguros (0.8% de capital fijo)* = 8,500.00

*Peters-Cost estimation

TOTAL DE GASTOS FIJOS \$ 228,580.00

B.- GASTOS GENERALES.

a).- Gastos de administración y ventas:

Administrador \$ 48,000.00/año

Secretaria \$ 18,000.00 "

Agente de ventas \$ 60,000.00 "

GASTOS TOTALES DE ADMINISTRACION Y VENTAS POR AÑO: \$ 126,000.00

finalmente se tiene:

$$\text{COSTO TOTAL DEL PRODUCTO} = \text{GASTOS VARIABLES} + \text{GASTOS FIJOS} + \\ + \text{GASTOS GENERALES}$$

$$\text{COSTO TOTAL DEL PRODUCTO} = 2'176,974.04 + 228,580.00 + 126,000.00$$

$$\text{COSTO TOTAL DEL PRODUCTO} = \$ 2'531,554.04$$

Por lo tanto el costo total del producto por kilogramo producido es el siguiente:

$$\text{COSTO TOTAL DEL PRODUCTO/KGS PRODUCIDOS POR AÑO} =$$

$$2'531,554.04 / 306,599.80 = 8.25 \$/\text{Kg}$$

4.- RENTABILIDAD Y PUNTO DE EQUILIBRIO

Se ha determinado en el capítulo anterior el costo del producto, calculado en base al conjunto de costos que se tendrán en la planta.

Queda por determinar el precio al cual el producto saldrá al mercado, el cual se supone será tal para que compitiendo en el mercado, la planta empiece a tener utilidad. El precio de venta para resinas de este tipo en el mercado actual varía desde ₡ 11.00/Kg a 15.00/Kg, por lo que se tomará como precio base para la venta del producto el de ₡ 13.00/Kg.

Suponiendo que en el primer año se venda toda la producción al precio establecido, entonces se tendrán unas ventas calculadas en la siguiente forma:

Cantidad producida por día: 974.5 Kgs de resina

Días de producción por año: 260

Producción en el primer año: 253,370 Kgs

Ventas en el primer año: ₡ 3'293,810.00

Considerando el costo total del producto por año ya determinado, se tiene que la rentabilidad calculada con la producción inicial será:

Ventas en el primer año: ₡ 3'293,810.00

- Costo total del producto por año: ₡ 2'531,554.04

Utilidad en el primer año: ₡ 762,255.96

Con esta utilidad se puede calcular una rentabilidad inicial de la siguiente forma:

Rentabilidad = Utilidad/Inversión inicial x 100%

Rentabilidad = $762,255.96/1'523,888.49 \times 100\% = 50.0\%$

Por lo que la recuperación de capital en base a esta rentabilidad será:

Recuperación de capital = $100/50.0 = 2.0$ años

Se puede conciderar que este tiempo para recupera---
ción de capital es rapido, pero ya que la planta trabajará hasta el --
año de 1978 a plena capacidad, las ventas de producto terminado aumen-
taran a la vez que la producción será mayor, por lo que la rentabili--
dad para este año sería:

Cantidad producida por día: 1185.5 Kgs

Producción en el último año: 308,230 Kgs

Ventas en el último año: ₡ 4'006,990.00

- Costo total del producto por año: ₡ 2'531,554.04

Utilidad en el último año: ₡ 1'475,435.96

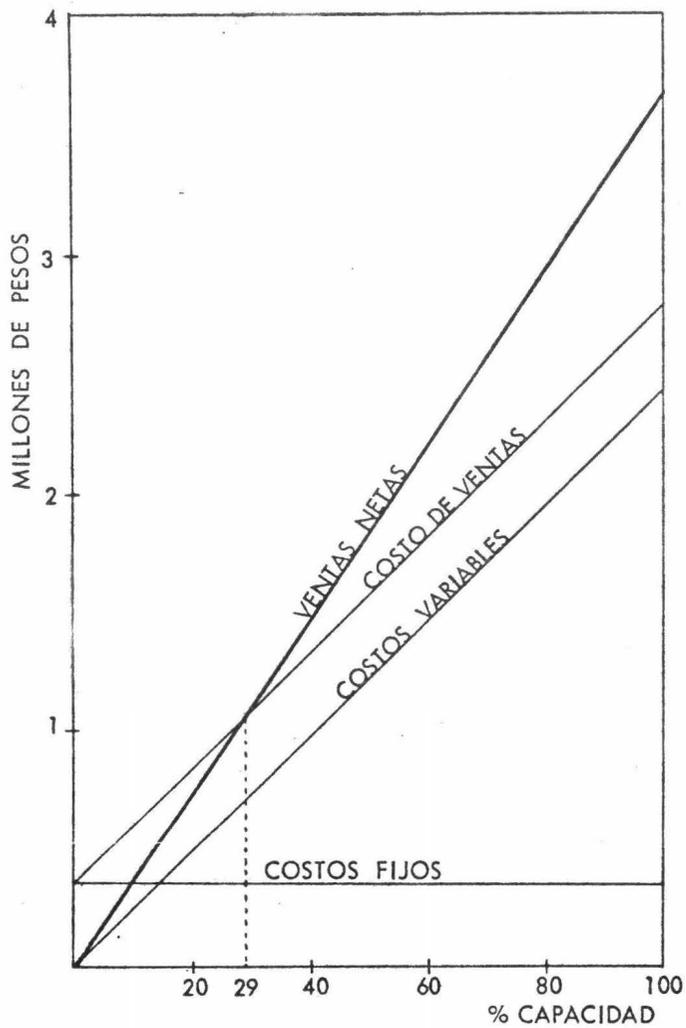
Rentabilidad = $1'475,435.96/1'523888.49 \times 100\%$

Rentabilidad = 96.8%

Recuperación de capital = $100/96.8 = 1.02$ años

Por lo que tomando un promedio con las dos rentabili-
dades calculadas, se obtiene que la recuperación de capital invertido,
se tendra en aproximadamente 1 año y medio.

El punto de equilibrio por tanto, queda determinado
en base a los valores que se han calculado anteriormente en los dife--
rentes incisos de este capítulo, quedando graficado en la siguiente ho-
ja.



GRAFICA DE PUNTO DE EQUILIBRIO

BIBLIOGRAFIA

Schildknecht C. T.

polymer Processes.

Interscience Publishing Co.

New York. 1956

W. Von Fischer.

Paint and Varnish Technology.

Reinhold Publishing Co.

U.S.A. 1948.

C. Ellis.

Chemistry of Synthetic Resins. *

Reinhold Publishing Co.

New York. 1935.

Okano and Ogata.

Journal of American Chemical Society.

74, 5728-5731. 1952.

L. M. Dennis. and R. S. Shelton.

Journal of American Chemical Society.

52, 3128-3132. 1930.

Herbert R. Simonds y L. M. Church.

Plásticos Formulación-Moldeo.

D. Van Nostrand Co. Inc.

New York. 1962.

Kirk R. E. and Othmer D. F.

Encyclopedia of the Chemical Technology.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

Vol I.

New York 1947.

John H. Perry.

Chemical engineering Hand Book.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

New York. 1963.

Warren L. McCabe and Julian C. Smith.

Unit Operations of Chemical Engineering.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

New York. 1956.

Donald Q. Kern.

Process Heat Transfer.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

New York. 1958.

Crane Company.

Flow of fluids through valves, fittings and pipe.

Technical paper 410.

U. S. A. 1965.

American Society of Testing Materials.

Paint, Varnish, Lacquer and related product test
for formulated products and applied coatings.

Baltimore, U.S.A. 1966.

Bethlehem.

Flanged & Dished Spun heads.

New York. 1968.

A. S. M. E.

Boiler and pressure vessel code.

Cat. 2141 Div. 1 Sec. VIII.

American Society of Mech. Engineers.

1968.

Max S. Peters.

Plant Design and Economics for Chemical Engineers.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

New York. 1958.

Herbert E. Schweyer.

Process Engineering Economics.

Mc Graw Hill Book Company Inc.

New York. 1955.

Direccion General de Estadistica.

Secretaria de Industria y Comercio.

México D.F. 1964-1972.

Asociacion Mexicana de La Industria Automotriz.

Sección de Estadistica.

Asociación Nacional de Fabricantes de

Aparatos Domesticos.

Dep. de Estadistica.