



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**Escuela Superior de Ingeniería Química  
e Industrias Extractivas**



**“ESTUDIO TECNICO PARA LA FABRICACION  
DE CLORURO DE BENCILO.”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL  
P R E S E N T A N  
MARIA LUISA BARRERA GUAZO  
MARCELO, BECERRA GONZALEZ  
ARQUIMEDES CU QUIJANO  
EUSEBIO RUIZ CASTAÑEDA**

**MEXICO, D. F.,**

**1986**



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

T.-39

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DIVISION DE SISTEMAS DE TITULACION

SECRETARIA

DE

EDUCACION PUBLICA

Mexico, D. F. Febrero 26, de 1986

MARIA LUISA BARRERA GUAZO

MARCELO BECERRA GONZALEZ.

ARQUIMEDES CU QUILIANO.

EUSEBIO RUIZ CASTAÑEDA.

C Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL. Presente

1979-1985

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional en la opción **TESIS COLECTIVA**

es propuesto por el C ING. JORGE IBARRA OLVERA.

quien será el responsable

de la calidad de trabajo que usted presente, referido al tema " ESTUDIO TECNICO PARA LA FABRICACION DE CLORURO DE BENCILO."

el cual deberá usted desarrollar de acuerdo con el siguiente orden

**RESUMEN.**

**INTRODUCCION.**

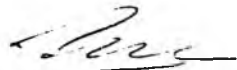
- I.- GENERALIDADES.
  - II.- ESTUDIO DE MERCADO.
  - III.- PROCESO DE FABRICACION DEL CLORURO DE BENCILO.
  - IV.- TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.
  - V.- EVALUACION DEL PROCESO.
  - VI.- BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.
  - VII.- SELECCION Y DISEÑO DE LA BOMBA
- CONCLUSIONES.**  
**BIBLIOGRAFIA.**

  
ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe del Departamento de Opción

  
ING. JORGE IBARRA OLVERA.

El Profesor Orientador

  
ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe de la División de  
Sistemas de Titulación

  
DR. GUILLERMO RODRIGUEZ SUAREZ.

El Director de la Escuela

mrg'



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

SECRETARIA  
DE  
EDUCACION PUBLICA

MEXICO, D. F., 27 de febrero de 1983

MARIA LUISA BARRERA GUAZO.  
MARCELO BECERRA GONZALEZ.  
ARQUIMEDES CU QUIJANO.  
EUSEBIO RUIZ CASTAÑEDA.


Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL.

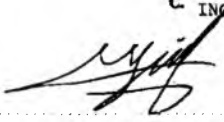
Presente

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted que, habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente, denominado "ESTUDIO TECNICO PARA LA FABRICACION DE CLORURO DE BENCILO."

encontramos que el citado trabajo y/o proyecto de tesis, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y proceder a su impresión según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente  
JURADO

  
C. ING. JORGE IBARRA OLVERA.

  
C. ING. ARMANDO GONZALEZ HERNANDEZ.

  
C. ING. ISAAC ORIA CELIS.

mrg.

c.c.p. - Expediente

A MIS PADRES

MA. LUISA GUAZO CRUZ

JUAN BARRERA RAMIREZ

Porque han sabido ser tronco de un frondoso árbol de cinco ramas.

Pero de manera muy especial, a esa mujer - que ha sabido cuidar de esas cinco ramas - dandoles cuidado, cariño y buenos ejemplos además de su ayuda moral y económica.

A MIS HERMANOS

Que de una u otra manera me ayudaron y me brindarán todo lo que estuvo a su alcance para que yo llegara a alcanzar una de las tantas metas que me he propuesto alcanzar.

A MI TIO ANGEL Y A MARCELO

Por haber estado siempre a mi lado, brindandome una sonrisa en los momentos difíciles y alentandome a seguir adelante en esos momentos en que sentia que mis fuerzas se acababan.

AL SR. ROBERTO GUAZO BELTRAN ( MI ABUELO )

Que en todo momento me ha servido de ejemplo pues supo ser un hombre honesto y un ser humano ejemplar.

A MIS MAESTROS

A todos y cada uno de ellos, por haberme ayudado a corregir mis errores, por sus consejos y sus experiencias.

A todos ellos, por haberme acompañado en éste largo y duro camino. Muchas gracias.

MA. LUISA BARRERA GUAZO

**A MIS PADRES**

RITA GONZALEZ DE B.  
MARCELO BECERRA L.

**A MIS ABUELOS (Q.E.P.D.)**

Que con tanto esfuerzo y dedicación me ayudaron a salir adelante en mis estudios, por ese amor, ayuda moral y económica, y a la vez por la paciencia que tuvieron conmigo para concluir mis estudios mil gracias.

**A MIS HERMANOS**

Doy gracias por todo lo que me ayudaron moral y económicamente aunque hubo veces en que mis ánimos decaían y ellos con las ilusiones puestas en mí, me alentaron a salir adelante.

**A MIS SOBRINOS**

Por sus ilusiones de llegar a ser alguien en la vida, este presente les servirá de aliento para que sigan sus estudios y así para darse cuenta que en esta vida todo se puede alcanzar con dedicación y esfuerzo. Por las ilusiones que un día pusieron en mí, mil gracias.

**A MI SOBRINO MARCO ANTONIO Z. B. (Q.E.P.D.)**

Dedico este trabajo en su memoria por el apoyo moral y espiritual, ya que en su vida tan corta su ilusión fue ser alguien en la vida, por todo eso y más mil gracias.

**A MIS MAESTROS**

Que supieron corregir mis errores con sus consejos y experiencias al cabo de esta etapa de mi vida y que me sigue alentando a continuar mis estudios, por todo eso gracias.

Con cariño y admiración a mis padres  
Profr. Juan Pablo Cá Chan y Guadalupe  
Quijano de Cá que con sus sacrificios  
consejos, apoyo moral y económico hi-  
cieron posible seguir adelante.

A mis hermanos en especial a Milca,  
Socorro, Diana y Narcedalia de las  
cuales obtuve en todo momento pala-  
bras de aliento.

A mis amigos Atilano, Roberto, Victor  
Eusebio, Froylan, Jose, Magdaleno, -  
María Lúisa, Marcelo y Hector con los  
cuales compartí momentos de fracasos  
y éxitos.

**A MI MADRE**

**Blanca Castañeda J.**

**Porque gracias a su apoyo y  
comprensión he realizado  
una de mis metas anheladas.**

**A MIS HERMANOS**

**Ambrosio, Efrén, Humberto y  
Leticia.**

**Por su comprensión y alientos  
brindados en todo momento.**

**EUSEBIO RUIZ CASTANEDA**

Con agradecimiento y respeto al  
ING. Jorge Ibarra Olvera por su  
colaboración en esta tesis.

Al H. Jurado.

A la Escuela Superior de Ingeniería  
Química e Industrias Extractivas



## INDICE

	Pag.
RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	4
CAPITULO I	
GENERALIDADES .....	6
CAPITULO II	
ESTUDIO DE MERCADO .....	13
CAPITULO III	
PROCESO DE FABRICACION DEL CLORURO DE BENCILO .....	30
CAPITULO IV	
TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA .....	36
CAPITULO V	
EVALUACION DEL PROCESO .....	45
CAPITULO VI	
BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA .....	55
CAPITULO VII	
SELECCION Y DISEÑO DE LA BOMBA .....	69
CONCLUSIONES .....	114
BIBLIOGRAFIA .....	117

## RESUMEN

Una de las razones principales por las que se realizó el estudio para la fabricación del cloruro de bencilo, es la gran demanda que se tiene de este producto, otra razón es la de evitar fugas de divisas, ya que la producción nacional es insuficiente por lo que recurre a importarlo.

El cloruro de bencilo se usa en la industria de los colorantes como materia prima en la fabricación de bases bencílicas, como materia prima de productos farmacéuticos y constituyentes de perfumes; uno de sus usos principales es como materia prima para producir alcohol bencílico, el cual a su vez se utiliza para producir plastificantes como ftalato de dioctilo, etc.

Uno de los puntos más importantes de este estudio, es pretender eliminar el uso de sustitutos del cloruro de bencilo dentro de la industria de los plastificantes, (ftalato de dioctilo y el anhídrido ftálico) y así con ello abatir precios, ya que con el cloruro de bencilo los plastificantes son mucho más finos.

El proceso de fabricación seleccionado para la obtención del cloruro de bencilo se lleva a cabo haciendo reaccionar el cloro con el tolueno.

Reacción que debe realizarse entre los límites de temperaturas de 95 a 110°C para obtener la máxima cantidad del pro-

ducto deseado, el proceso que se lleva a cabo, esta descrito en el diagrama num. 2 .

De acuerdo a las propiedades corrosivas del producto y sub producto obtenido en el proceso, se estudio el material adecuado para su envase y su almacenamiento.

En cuanto a la localización de la planta se tomaron en cuen ta los siguientes factores como son: el mercado de abasteci- miento de materias primas, localización del mercado a abaste- cer, disponibilidad y características de la mano de obra, -- energía eléctrica, agua, transporte, etc.

Por otro lado se tomo en cuenta la disponibilidad de terre nos industriales y su costo, asi como las facilidades que da el gobierno en cada una de las zonas posibles para instalar- la planta, que repercuten en disminución de los impuestos.

También se estudiarón las propiedades tanto físicas como - químicas de las materias primas, producto y subproducto, así como los volúmenes de estos y el envasado para si se desea - realizar el estudio económico de este proyecto.

También se llevo a cabo un balance de materia y energía; - con el fin de saber que cantidades de materia prima se tiene que alimentar para conocer la cantidad de producto que se ob tendrá y sus características.

También a partir del balance de energía se realizo el estu dio de operación del proceso y las condiciones de operación-

fuerón fijadas de acuerdo a el lugar en el que se instalará la planta, ya que las temperaturas de ebullición de materias primas y producto principal dependen de la presión atmosférica del sitio donde se ubique la planta.

Por último, se selecciono y diseño la bomba que se empleará en la alimentación de la mezcla que sale del reactor a la primera columna de destilación; para calcular el tamaño de la bomba, se consideraron las propiedades del cloruro de bencilo ya que este se encuentra en un porcentaje mucho mayor - en relación a los dos subproductos obtenidos que es de 85.54 % .

## INTRODUCCION

En el presente trabajo, se realizo el estudio técnico para la fabricación del cloruro de bencilo, el cual es un producto petroquímico secundario clasificado como intermedio el cual en los últimos años se ha venido importando para poder satisfacer el mercado nacional.

La realización de nuevos proyectos implican nuevos estudios técnicos y económicos que nos permitan definir -- si estos proyectos pueden llevarse a cabo, procurando -- tomar en cuenta el mayor numero de factores posibles como son: rentabilidad, tamaño y localización de la planta, materias primas, procesos de fabricación, etc.

Se pretende además cuantificar y concluir los resultados del balance de materia y energía para la fabrica -- ción del cloruro de bencilo, que ahorraria una suma im--portante de divisas en estos momentos de gran crisis e--conómica en el país, y se crearían fuentes de trabajo -- con los consiguientes beneficios económicos y sociales.

Una de las principales razones del estudio técnico pa--ra la fabricación del cloruro de bencilo, es que puede--reemplazar a una de las materias primas más importantes

para la elaboración de plastificantes como es el anhídrido ftálico, siendo el cloruro de bencilo mucho más económico y con mejores características tanto físicas como químicas y con un mayor rendimiento para poder competir con el anhídrido ftálico.

Otra razón fundamental es que a partir del cloruro de bencilo se obtienen productos importantes como el alcohol bencílico, cloruro de benzal, que tienen gran aceptación y aprovechamiento en la industria química.

De igual forma se realizarán, el diseño y el cálculo de la bomba que manejara la mezcla de productos del tanque a la torre de destilación, haciendo referencia exclusivamente al cloruro de bencilo para los cálculos. Ya que es el producto que nos interesa en el presente trabajo.

Para finalizar, de acuerdo a extrapolaciones realizadas, se tomó que el tamaño de la planta será para producir 3 000 ton/año de cloruro de bencilo, esta capacidad es máxima en cuanto a la demanda actual del producto, pero en el momento en que los fabricantes de plastificantes sustituyan al 2-etil hexanol por el cloruro de bencilo debido a las propiedades técnicas y económicas, esta capacidad será justificada.

## CAPITULO I

## GENERALIDADES.

A finales de los años setentas y principios de los ochentas la economía de nuestro país atraviesa por una crisis económica de origen interno y externo, que ha traído como consecuencia un considerable aumento en la demanda de este producto químico que por la escasez de materia prima, recursos tecnológicos y/o económicos esta se ha tenido que satisfacer mediante importaciones ya que la producción nacional es insuficiente para satisfacer el mercado interno.

Estas importaciones de producto y tecnología son injustificables cuando se tiene un mercado potencialmente grande, -- los recursos materiales y tecnológicos existentes en nuestro país tienden a reemplazar dichas importaciones.

La industria petroquímica comprende la elaboración de -- todos aquellos productos químicos derivados de los hidrocarburos del petróleo y del gas natural mediante procesos físicos y químicos.

El desarrollo de la industria petroquímica está estrechamente ligada a la economía del país, debido a la gran variedad de productos químicos que se generan.

Por ley, la industria petroquímica se divide en dos ramas: el sector primario o básico y el sector secundario. El sector primario le corresponde exclusivamente a PEMEX y comprende a todas aquellas materias primas que sean resultado de la primera transformación química o el primer proceso físico-

importante y que se efectúe a partir de producto y subproductos de la refinación de hidrocarburos del petróleo.

El sector secundario comprende los productos que resulten de los procesos subsecuentes o los de la petroquímica básica y su fabricación puede realizarse por la industria privada o asociada con el gobierno, en este caso se requieren de un 60% de participación de capital mexicano.

#### Características físicas y químicas del cloruro de bencilo.

El cloruro de bencilo o alfa cloro tolueno, es un líquido incoloro de olor aromático y cuyos vapores son irritantes a las mucosas y los ojos, se le considera un lagrimador poderoso. Las propiedades físicas del cloruro de bencilo son las siguientes:

Peso molecular	126.5
Densidad absoluta	1.1026 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de ebullición a 760 mm de Hg.	179.4°C
Temperatura de fusión	-43.0°C
Densidad relativa	
a 4/4°C	1.1135
a 15/15°C	1.1042
a 20/20°C	1.1002
Índice de refracción	1.5412
Tensión superficial (dinas/cm)	
a 15°C	38.43
a 179.5°C	19.5



Difusión de vapor en aire	0.066
Densidad de vapor (aire = 1.0)	4.34
Calor de combustión (Kcal/mol)	886.4
Punto de inflamación ( $^{\circ}$ F)	140.0
Límite explosivo menor (en aire)	
% volúmen	1.1
Calor específico, a 1.0 atm.	0.323
10 - 140 $^{\circ}$ C (cal/g $^{\circ}$ C).	
Coefficiente volumétrico de expansión por 0.0 - 30 $^{\circ}$ C	0.00097
Calor de vaporización (cal/mol)	11024.00
Presión de vapor:	

$^{\circ}$ C	mm Hg.
22.0	1.0
47.8	5.0
60.8	10.0
90.7	40.0
100.5	60.0
114.2	100.0
134.0	200.0

Mezclas azeotrópicas binarias del cloruro de bencilo.

Sistema	Punto de ebullición	% mol $C_7H_7Cl$
cloruro de bencilo		
ácido	172.0 $^{\circ}$ C	66.0
cloruro de bencilo		
benzaldehído	178.0 $^{\circ}$ C	46.0

El cloruro de bencilo es insoluble en agua fría, pero se descompone en agua caliente para dar alcohol bencílico.

A temperatura ambiente es miscible en todas proporciones con alcohol, éter y cloroformo.

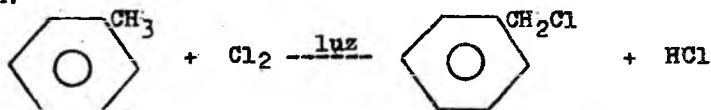
Hay 35 sistemas azeotrópicos binarios, 5 ternarios que contienen cloruro de bencilo como componente. Entre estos hay mezclas azeotrópicas binarias de ácido cloroacético y bencilaldehído.

#### Métodos de obtención en el laboratorio.

El cloruro de bencilo fué obtenido por primera vez partiendo de alcohol bencílico y ácido clorhídrico en 1854 por Cannizzaro.

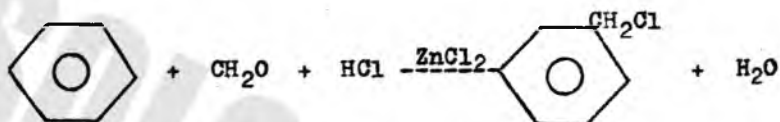
El principal método de obtención consiste en la cloración del tolueno hirviendo, en ausencia de luz hasta que haya un aumento en masa del 37%. La mezcla de la reacción se agita con una base débil y se procede a destilar. La cloración se lleva a cabo en un recipiente resistente al cloro. Los catalizadores que se pueden emplear son el pentacloruro de fósforo ( $\text{PCl}_5$ ), ó luz, pero la reacción también se puede efectuar sin estos catalizadores, aunque en forma muy lenta.

Reacción:



El cloruro de bencilo puede prepararse en forma continua mezclando tolueno y cloro en fase vapor, usando como agente clorante el cloruro de sulfurilo ( $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ), con un exceso de tolueno a  $130^\circ\text{C}$  y peróxido de dibenzol como catalizador.

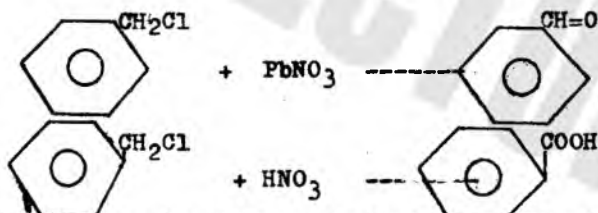
Otro método es la clorometilación del benceno en presencia del cloruro de zinc. Como agente metilante puede usarse el formaldehído, p-formaldehído, metilal ó dicloro metil éter reaccionando con ácido clorhídrico gaseoso, en ésta reacción se recomienda destilar a vapor para evitar la descomposición del cloruro de bencilo, con este método se puede obtener rendimientos del 70% ó más de cloruro de bencilo, pudiendo regenerarse el cloruro de zinc.



Reacciones del cloruro de bencilo.

En la cadena.

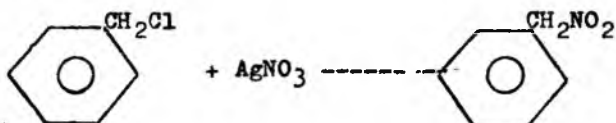
a).- Con agentes oxidantes de benzaldehído y ácido benzoico.



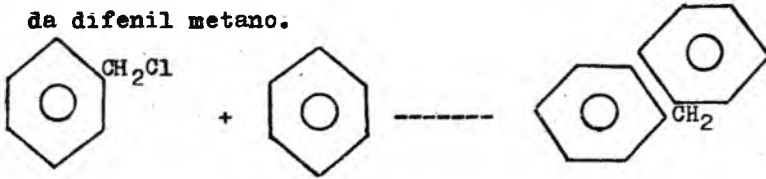
b).- Con cianuro de potasio da fenil acetónitrilo (cianuro de bencilo).



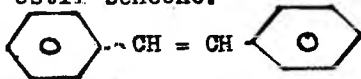
c).- Con nitrato de plata da fenil nitrometano.



d).- Con benceno en presencia de tricloruro de aluminio -  
da difenil metano.



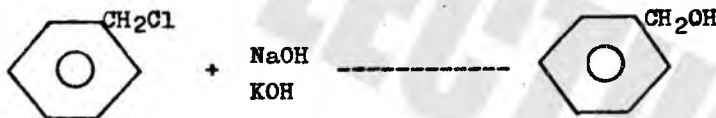
e).- Sujeta a una corriente eléctrica se libera HCl y se  
forma estil benceno.



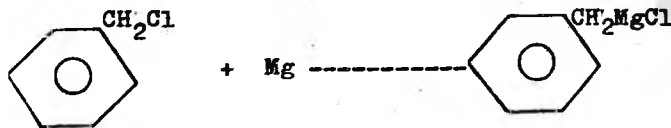
f).- Con acetato de potasio da acetato de bencilo.



g).- Por ebullición con hidróxido de potasio ó sosa da --  
alcohol bencílico.

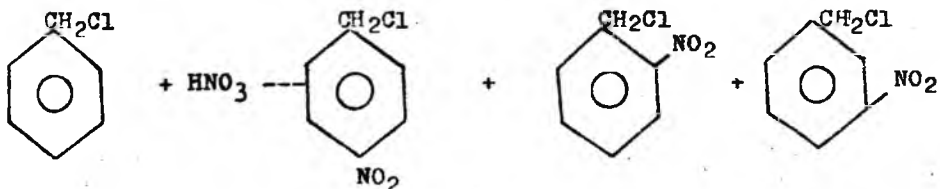


h).- Con magnesio por reacción de Grignar da cloruro de -  
bencilo magnesio.



En el núcleo.

a).- Por nitración da 50% para, 30% orto y 15% meta clo--  
ruro de nitrobencilo.



### Uso del cloruro de bencilo.

En la industria de los colorantes se emplea en la fabricación de bases benciladas necesarias en materias colorantes como violeta de bencilo, violeta brillante, crisalina y verde álcali.

Es muy usado como materia prima en la fabricación de productos farmacéuticos como fenobarbital, anfetaminas, dolantin y benzoato de bencilo, además se utiliza como constituyente de perfumes.

El cloruro de bencilo es también materia prima en la producción de acetato de bencilo, cinamato de bencilo, ester fenil acético y alcohol fenil etílico, usados como intermedios de otros compuestos orgánicos. La mayor demanda de cloruro de bencilo es para la fabricación del alcohol bencílico utilizado como materia prima para producir ftalatos de alquil bencilo, siendo el principal de estos el ftalato de butil bencilo, que en la industria de los plastificantes puede competir en calidad con el ftalato de dioctilo que es el principal plastificante del anhídrido ftálico.

El cloruro de bencilo es materia prima en la producción del p-bencil fenol, que se usa como desinfectante, bactericida, insecticida y repelente de insectos. Se usa también en la preparación de resinas artificiales, fibras textiles y en la fabricación de curtientes.

## CAPITULO II

## ESTUDIO DE MERCADO.

En este proyecto el estudio de mercado tiene una gran importancia, ya que de su buena o mala realización se derivaran buenas o malas desiciones respecto a la viabilidad del proyecto.

Esta viabilidad será resultado de una evaluación completa de todos los aspectos que haya sido posible considerar en el mismo. El enfoque que se le ha dado a este estudio en particular ha sido, en primer lugar, conocer los antecedentes -- del cloruro de bencilo en el mercado nacional y estimar su situación actual en los campos de aplicación en el país. En segundo lugar se investigaron las razones de su poco uso en el ramo de los plastificantes del anhídrido ftálico (dada la magnitud de este mercado en el país), e igualmente sus posibilidades de aceptación en el momento de iniciar su producción local, para lo cual se han efectuado entrevistas con algunos de los principales consumidores de plastificantes en el país, -- quienes en general opinan que la futura penetración en el mercado del ftálato de dibutil bencilo, que se deriva del cloruro de bencilo y del alcohol bencílico, está solo condicionada a que tenga un precio competitivo con el ftálato de dioctilo- y otros plastificantes de fuerte consumo actual.

La proyección de la demanda se ha hecho principalmente -- en base a la penetración en la demanda esperada de plastifi--

cantes en el país.

Se ha investigado el abastecimiento de materias primas - en cuanto a cantidades, fuentes y precios, así como su consumo aparente en el país.

El consumo del cloruro de bencilo en los últimos años ha sido el siguiente:

1979	1980	1981	1982	1983	1984
1100	1160	1210	1295	1360	1420

Nota: Esta información fué tomada del anuario estadístico del comercio exterior, hasta 1979 los años siguientes fueron estimados por gráfica.

#### Importaciones del cloruro de bencilo.

Los países de los cuales se ha importado el cloruro de bencilo en los últimos años, han sido principalmente, Estados Unidos de América, República Federal Alemana, y República Democrática Alemana.

En el anuario estadístico del comercio exterior se tienen datos de importaciones de cloruro de bencilo hasta 1979 y son los siguientes:

País	Cantidad (Kg/año)	Valor (\$)
R.F.A.	34 400	794 831
R.D.A.	14 400	267 934
U.S.A.	25 833	623 217
Total	74 633	1 685 982

La fracción arancelaria registrada para el cloruro de bencilo y de algunos de sus subproductos son:

Producto	Fracción arancelaria
Cloruro de Bencilo	29-02-B.005
Cloruro de Benzol	29-02-b.009
Ftalato de Butil Bencilo	29-15-c.029

#### Precio.

El precio actual promedio de fabricantes o distribuidores en el mercado nacional del cloruro de bencilo es el siguiente, sin incluir impuestos:

Precio en el país                      \$/Kg.

#### Producto

Cloruro de Bencilo                      590.00 + iva

#### Consumidores.

Como se ha mencionado, el cloruro de bencilo se consume por diversas industrias como son: Plastificantes, Perfumería, Farmacéutica, Colorantes, Desinfectantes, Bactericidas e Insecticidas.

Las tres primeras industrias enunciadas anteriormente son las que utilizan un mayor volumen de cloruro de bencilo por lo que pueden llamarse indicadores de la demanda actual y futura del cloruro de bencilo en el mercado.

Consumo de productos derivados del cloruro de bencilo

Los productos que se derivan de la fabricación del cloruro de bencilo, una parte es producida en el país -



y la otra parte es importada.

De cualquier manera ambas cifras señalan el consumo aparente que existe en México de dichos productos, como son: cloruro de benzal, benzaldehído, alcohol bencílico y ftálato de butil bencilo.

Una proyección de la demanda de este consumo basado en datos reales de varios años, dará la pauta de la demanda que a su vez tendrá el cloruro de bencilo considerando que la cantidad de este marginen la aparición en el mercado de productos sustitutos, o de aquellos que de alguna forma se deriven de su producción.

Cualquiera que fuese la situación contraria a la que se está considerando afectará de alguna manera el futuro del mercado que se proyecta.

A continuación se muestra el consumo aparente en México de los principales derivados del cloruro de bencilo.

Consumo aparente de derivados (ton/año).

Año	Cloruro de Benzal	Benzaldehído	Alcohol Bencílico	Ftálato de Butil Bencilo.
1979	500	410	305	625
1980	540	475	360	680
1981	565	505	400	710
1982	600	550	470	800
1983	635	572	500	840

## Análisis de la demanda actual.

Debido a que la demanda de cloruro de bencilo y sus derivados varían en forma muy importante con el precio y por propia opinión de las industrias consumidoras de este producto, se tiene como consecuencia que el coeficiente de elasticidad de precios sea elevado con respecto a otros productos petroquímicos intermedios de difícil sustitución por similares a estos.

Esto es que al menos en el ramo de los plastificantes -- que es el que consume mayores cantidades de estos, cualquier variación en el precio ofrecido provoca variaciones más o menos fuertes en sentido inverso de las cantidades demandadas.

Es muy importante la falta de antecedentes en variaciones de precios - cantidad demandada de cloruro de bencilo para la industria de los plastificantes, por lo que se hace imposible comprobar una demanda actual insatisfecha y a estimar su magnitud.

Sin embargo, la totalidad de la producción de plastificantes del tipo de ftálato de dioctilo ó sus isómeros, que -- por la escases de sus materias primas, podrán sustituirse por ftálatos de alquil bencilo (con ventajas tanto de tipo físico como químico sobre los demás), el cual es un subproducto del cloruro de bencilo.

Según opiniones conservadoras de los industriales, estos ftálatos podrían venderse en cantidades superiores a las 2500 ton/año, si el precio del alcohol bencílico o del cloruro de bencilo resulta competitivo con el 2-etil-hexanol, el cual es

un sustituto de éstos. Estas 2500 ton. implicarían ventas de 1000 ton/año de cloruro de bencilo, que dependerá del crecimiento de las empresas instaladas que lo emplean y de la instalación de otras que le den usos distintos en el país.

Debido a las limitaciones del presente estudio, se considero la futura demanda de este producto y se determino hasta donde fué posible, las cantidades que se pretenderán vender y por lo tanto la capacidad de la planta que se requiere instalar.

Como algo importante se observa el hecho de que a pesar de su alto costo, los plastificantes fabricados a partir del cloruro de bencilo han demostrado un aumento en el consumo superiores al 30% anual. Graficando este consumo en los últimos años y extrapolándolo con la misma tendencia de crecimiento, se obtuvo la gráfica num. 1 . Esta tendencia no podría conservarse si el costo de sus materias primas no bajase.

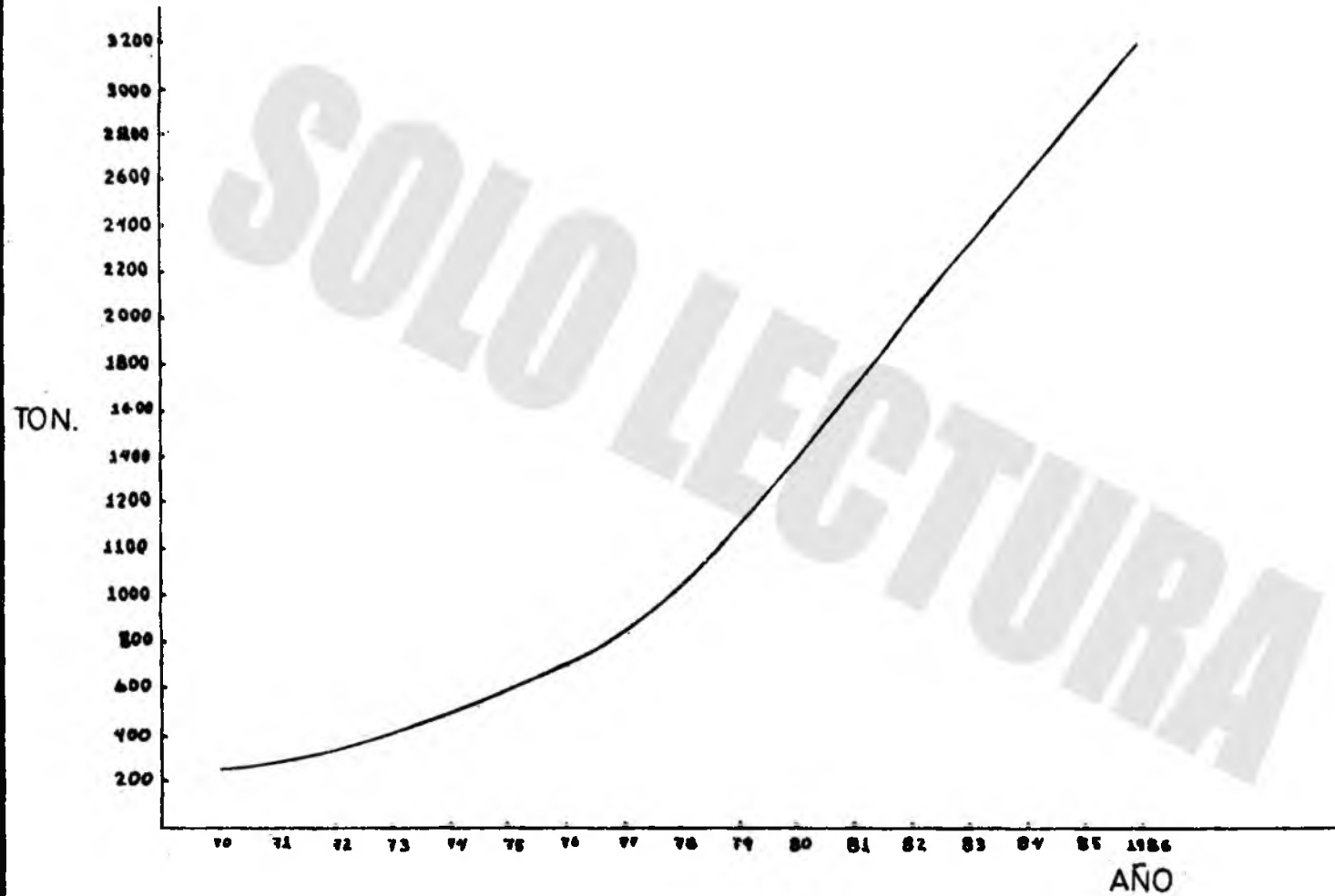
De igual manera, graficando el consumo de derivados del cloruro de bencilo (benzoatos, acetatos y silicatos de bencilo), y extrapolándolo se obtiene la gráfica num. 2 .

Tabulando las gráficas num. 1 y 2 en el cuadro num. 1 , se observa la proyección de la demanda de los ftálatos de alquil bencilo y de otros derivados del cloruro de bencilo.

Considerando la estequiometría y los rendimientos prácticos de las reacciones involucradas, se obtuvo lo siguiente.:

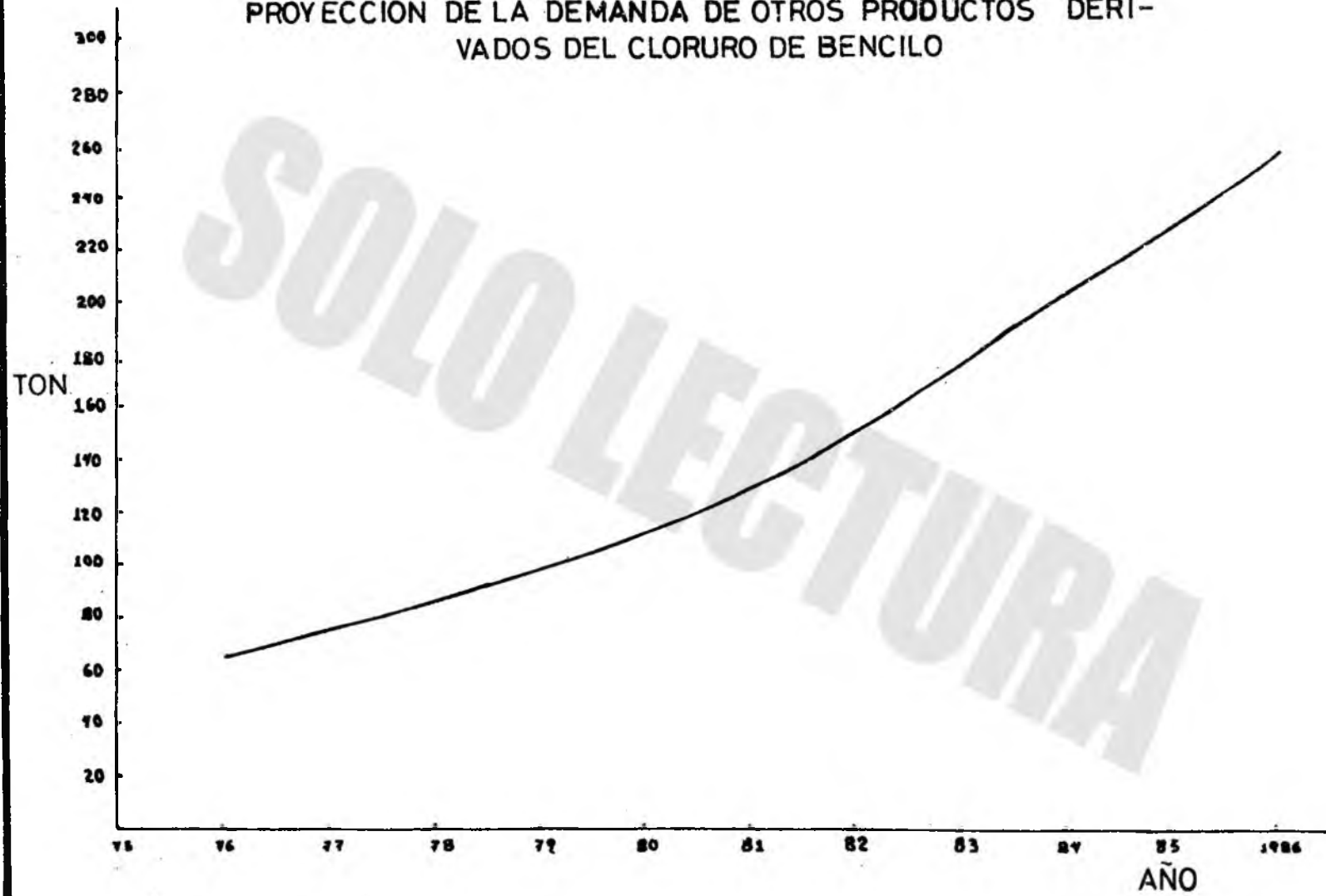
- a).- Para producir una tonelada del ftálato de butil bencilo, se requieren de 400 Kg de cloruro de bencilo, tomando en cuenta la hidrólisis de éste y esterifi-

GRAFICA NUM 1  
PROYECCION DE LA DEMANDA DE FTALATOS DE BENCILO



GRAFICA NUM. 2

PROYECCION DE LA DEMANDA DE OTROS PRODUCTOS DERIVADOS DEL CLORURO DE BENCILO



CUADRO NUM. 1

AÑO	FTALATOS DE BENCILO (TON)	OTROS DERIVADOS DEL CLORURO DE BENCILO (TON)
1971	280	—
1972	315	—
1973	400	—
1974	480	—
1975	575	—
1976	690	65
1977	810	72
1978	980	85
1979	1180	94
1980	1415	112
1981	1695	129
1982	1990	150
1983	2295	177
1984	2600	206
1985	2890	231
1986	3190	257

cación del alcohol bencílico con anhídrido ftálico.

- b).- Para producir una tonelada de alcohol bencílico se requieren de 1300 Kg de cloruro de bencilo.
- c).- Para fines prácticos, se considera que se requieren en promedio de 1400 Kg de cloruro de bencilo para producir una tonelada, ya sea de benzoato, acetato o silicato de bencilo.

Con base en lo anterior y de recopilación de información en la industria es posible estimar una futura demanda de cloruro de bencilo en el mercado nacional, el cual aparece en el cuadro num. 2 . Deberá entenderse que, como toda proyección, se corre el riesgo de que surjan acontecimientos imprevistos que provoquen errores en cualquier sentido de los pronósticos que se realicen. Sin embargo, se considera que las cifras no representan un criterio optimista, sino que se ha tratado de ser conservador.

#### Distribución geográfica del consumo.

La distribución geográfica del consumo y producción, se basa en la localización de las industrias que procesan o utilizan los productos derivados del cloruro de bencilo y la capacidad instalada que tienen estas empresas.

La importancia básica de estos, es la de vislumbrar una posible localización de la planta que se proyecta, con objeto de ubicarse en lugares accesibles a los centros de consumo.

Esta ubicación no queda supeditada únicamente a la cerca

CUADRO NUM 2

PROYECCION DE LA DEMANDA DE CLORURO DE BENCILO  
(TONELADAS POR AÑO)

PARA FABRICACION DE	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
F TALATOS DE BENCILO	610	665	728	789	846	903	969	1032
ALCOHOL BENCILICO	803	875	958	1038	1113	1193	1275	1358
OTROS DERIVADOS	193	210	230	249	267	286	306	326
TOTAL	1606	1750	1916	2075	2226	2382	2550	2716



nía de las industrias a las que se surtiría el cloruro de bencilo, sino que es muy importante tomarse otros factores como la localización de las fuentes de abastecimiento de las materias primas y las facilidades y recursos que se encuentren en estas regiones para establecer nuevas industrias.

En México existen dos plantas que producen cloruro de -- bencilo, una se encuentra en operación y la otra en constru-- cción, que son las siguientes:

Empresa	Productos	Capacidad (ton/año)	Ubicación
Aromáticos petroquímicos (en operación)	Cloruro de Bencilo	1000	San Juan del Rio Gro.
Cia. Química Ameyal S.A. (en proyecto)	Cloruro de Bencilo Alcohol Bencílico	1500 100	Tultitlan México

Analisis de productos sustitutos del cloruro de bencilo.

El esperado crecimiento en la demanda del cloruro de bencilo va a depender en una forma directa a la penetración en el mercado de los plastificantes derivados del anhídrido ftálico, cuyo principal representante es el ftálato de dioctilo- (más del 60% de la producción total de los plastificantes). - Una razón importante del porque los ftálatos de alquil benci-

lo no se han utilizado en gran escala ha sido que su precio no ha resultado, hasta ahora competitivo con el ftálato de dioctilo.

Con la fabricación en México del cloruro de bencilo el precio de los plastificantes derivados se ven abatidos sustancialmente.

Añadiendo a ésto que el punto de ebullición del cloruro de bencilo y sus derivados es mayor que el del ftálato de dioctilo (lo que los hace plastificantes mucho más finos), su demanda será cada vez mayor.

La situación que actualmente prevalece en la industria nacional de productores de plastificantes ofrece, por lo tanto un panorama del ftálato de dioctilo.

En la fabricación del ftálato de dioctilo se tiene básicamente dos materias primas: el anhídrido ftálico y el alcohol 2-etil-héxilico. Por lo que respecta al anhídrido ftálico, el abastecimiento del mismo no tiene problema en vista de que existe una capacidad productiva instalada superior a la demanda actual y futura inmediata y por otro lado el abastecimiento de la materia prima de éste (orto-xileno), Pemex produce lo adecuado.

Por lo que respecta al alcohol 2-etil-hexílico la capacidad productiva actual, cuenta con un volúmen más que suficiente para satisfacer la demanda actual, que es para satisfacer a los productores nacionales de plastificantes. Sin embargo, debido a la falta de materia (acetaldehído producido por Pemex) esta capacidad productiva no ha podido ser aprove-

chada y por lo mismo a partir de 1980 se ha tenido que importar este material.

La demanda nacional de acetaldehído, en vista de la capacidad productiva que tiene instalada Pemex actualmente es de 70% con producción nacional y el 30% restante es con materia-prima importada.

En vista de la situación antes descrita, se estima que podrían colocarse en un futuro inmediato con los productores nacionales de plastificantes grandes volúmenes de alcohol bencílico y cloruro de bencilo.

Para la fabricación del plastificante ftálato de n-butil bencilo, se prefiere el cloruro de bencilo sobre el alcohol bencílico por las ventajas que tanto técnicas como económicas que para la fabricación de dicho plastificante ofrece el cloruro de bencilo.

En lo referente a los demás campos de consumo del cloruro de bencilo y sus derivados, las cantidades demandadas son mayores y estables, ya que son componentes esenciales para la fabricación de productos terminados.

**Materias primas para la obtención del cloruro de bencilo.**

Resulta de gran importancia para el éxito o fracaso del proyecto, el asegurarse de la disponibilidad en suficiente cantidad que se utilizarán en el proyecto, que satisfagan los requerimientos de la planta y que el precio al que se ofrezca sea costeable, tomando en consideración su futura influencia-

en los costos de fabricación, ya que deberá introducirse en el mercado el cloruro de bencilo a un precio atractivo para los consumidores y desde luego, dejar márgenes de utilidad neta razonables.

Los insumos básicos para este proyecto son el tolueno y el cloro. Ambos insumos existen en el país, y en concreto para la industria química, gran importancia tanto por la magnitud de su consumo, como por la diversidad de sus aplicaciones, y en consecuencia por su alta significación tanto económica como social.

Cabe señalar que la producción del tolueno ha sido superior al consumo interno, por lo que se ha tenido que exportar los excedentes.

La actual capacidad instalada del tolueno es de 465 000-toneladas en las plantas ubicadas, en la Cangrejera con una capacidad de 365 000 toneladas, y otra en Minatitlan con capacidad de 100 000 toneladas, ambas plantas se encuentran en el Estado de Veracruz, pertenecientes a Pemex.

Sin embargo, es importante efectuar contratos por escrito anticipadamente con el fin de asegurar el abasto completo y oportuno de tolueno, con Petróleos Mexicanos.

Entre otras de las aplicaciones que se le da al tolueno se tiene: como solvente para pinturas, barnices, gomas, hules, resinas, aceites y éteres de celulosa y en síntesis orgánicas en la manufactura de ácido benzoico, colorantes y perfumes. Se usa también como agente de extracción y en la preparación de gasolinas de alto octanaje.

En lo referente al cloro, la capacidad instalada actualmente es poco más de 350 000 toneladas anuales en 10 plantas. De esta capacidad, 200 000 toneladas son para abastecer la -- producción de hidrocarburos clorados en el complejo de Pajaritos en el Estado de Veracruz.

Como en el caso del tolueno, se debe de investigar cuales son las compañías productoras que están en posibilidades de surtir cloro en las cantidades y especificaciones requeridas para el proyecto.

El cloro se utiliza en la fabricación de derivados clorados orgánicos e inorgánicos, en la purificación de agua, como blanqueador en la elaboración de pulpa de papel y como desinfectante.

En forma muy importante se usa en la industria petroquímica, y en especial en la producción de cloruro de vinilo.

En los siguientes cuadros nums. 3, 4 y 5 se verán las -- cantidades de tolueno y cloro elaborados en los últimos años y precios de ambas materias primas en el país.

CUADRO NUM. 5

Precios de materias primas.	
Materia prima	Precio en \$/Kg. (mayo de 1985)
Tolueno	970
Cloro	558

CUADRO NUM 3

TOLUENO ( PEMEX )  
( TON )

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984
PRODUCCION	107 896	124 884	131 942	137 800	222 440	215 995
IMPORTACION	40 736	36 661	22 828	11 792	—	36 604
EXPORTACION	—	—	—	—	—	7 308
CONSUMO APARENTE	148 632	161 545	154 760	149 592	222 440	245 291
CAP INSTALADA	118 600	118 600	118 500	118 500	100 000	100 000

CUADRO NUM. 4

COLORO  
(TON)

AÑO	1975	1976	1977	1978	1979	1980
PRODUCCION	127 000	143 317	172 183	175 430	170 581	169 755
IMPORTACION	1 969	3 050	14 061	33 577	42 527	54 606
EXPORTACION	83	101	85	—	19	2
CONSUMO APARENTE	128 886	146 266	186 159	209 007	213 089	224 359
CAP. INSTALADA	151 533	206 000	206 000	206 000	206 000	206 000

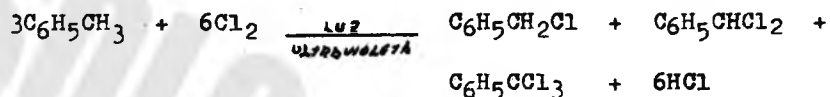
INFORMACION. A.N.I.Q. (1981)

## CAPITULO III

## PROCESO DE FABRICACION DEL CLORURO DE BENCILO.

## Reacción y condiciones generales.

El proceso está basado en la reacción en caliente del tolueno y el cloro, el tolueno a la temperatura de ebullición y el cloro libre de humedad, en presencia de luz ultravioleta, mediante la siguiente reacción balanceada:



La reacción se efectúa alrededor de 110°C, ya que a esta temperatura los hidrógenos del anillo tienen una gran estabilidad mientras que los hidrógenos de la cadena aumentan su reactividad.

Si se eleva la temperatura de reacción, las cantidades de cloruro de bencilo tienden a ser menores, mientras que los otros derivados clorados tienden a ser mayores. Además debido a que la reacción es muy exotérmica o sea que la reacción desprende una gran cantidad de calor, la velocidad de las moléculas resulta muy grande y como consecuencia resulta una cloración muy violenta, por lo que se recomienda llevar un estricto control de la temperatura.

La función de la luz ultravioleta es aumentar la reactividad y la selectividad de los hidrógenos de la cadena, ya que es absorbido por los átomos de los reactivos, por lo cual



DIAGRAMA NUM 1  
DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA FABRICACION DE  
CLORURO DE BENCILO

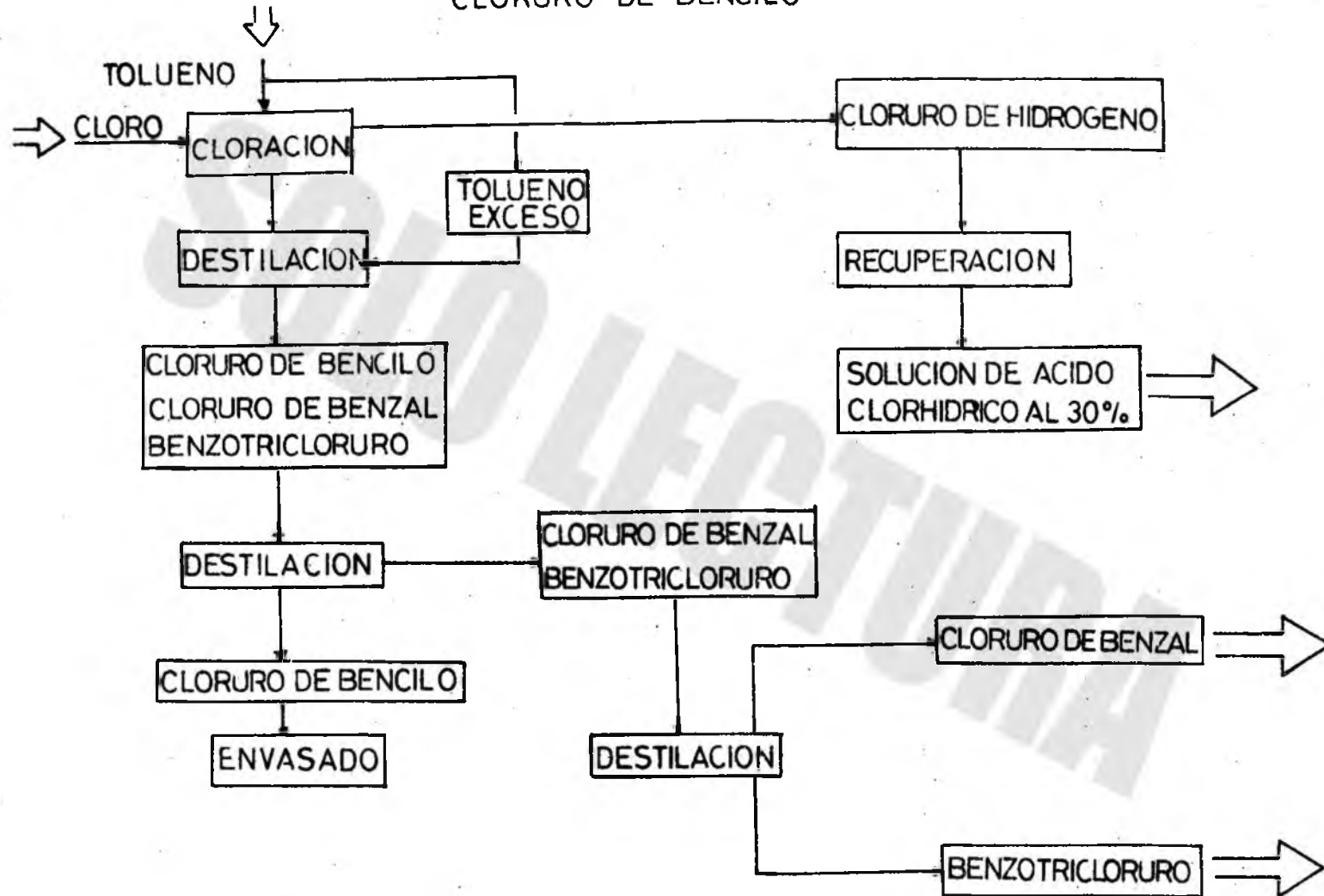
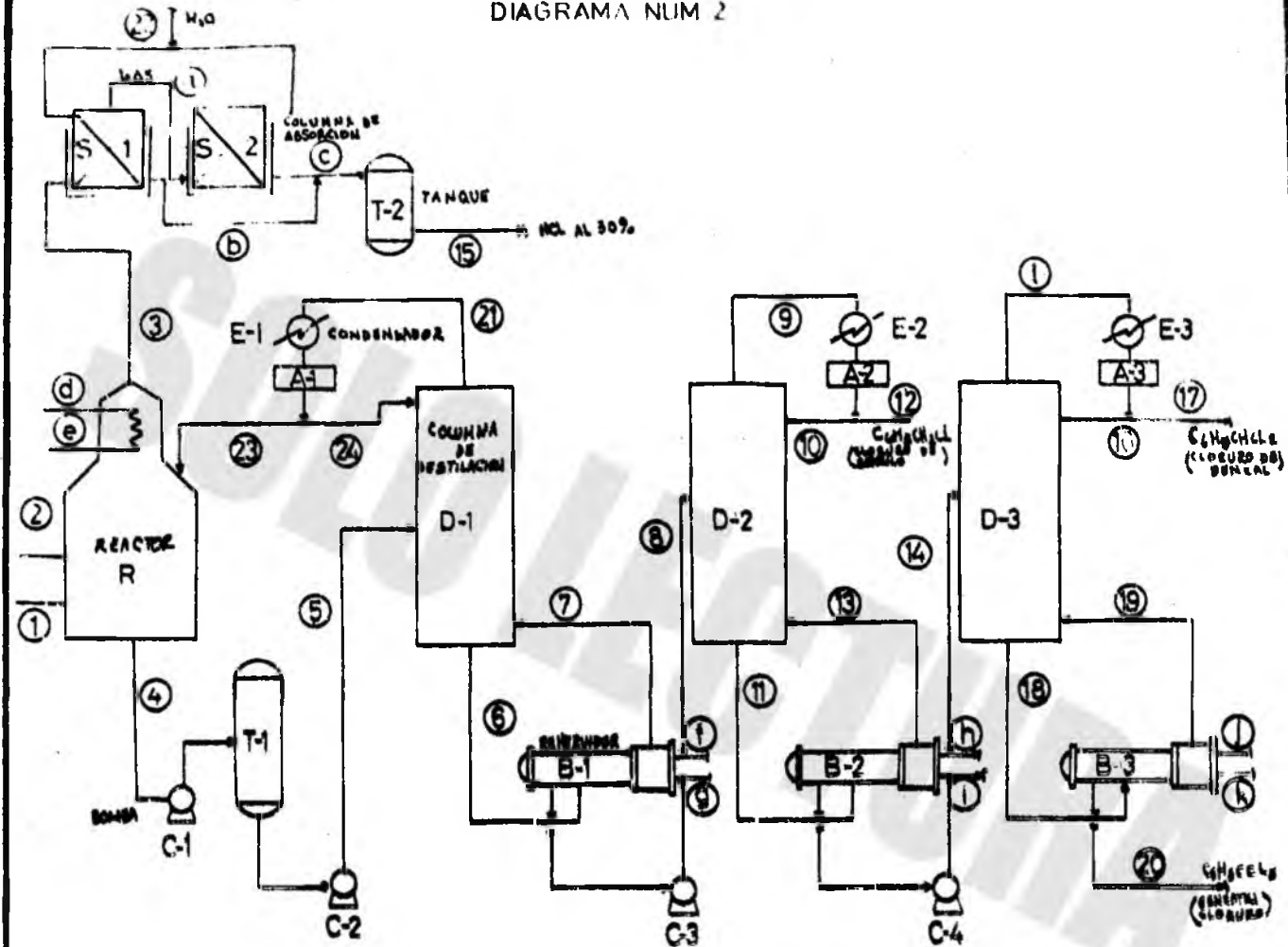


DIAGRAMA NUM 2



52

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
ESTADISTICA  
FLUJO DE PROCESO PARA LA FABRICACION DEL CLORURO DE BENCILO.

A bajas temperaturas, el cloro sustituye a uno de los --- hidrógenos del núcleo resultando orto ó p-cloro tolueno.

#### Descripción general del proceso.

La primera parte de la fabricación del cloruro de bencilo (ver diagramas num. 1 y 2), consiste en la reacción a la temperatura de ebullición del tolueno y cloro gaseoso, libre de humedad en el reactor R. De ésta cloración del tolueno resulta una mezcla de tres componentes que son(oproductos): el cloruro de bencilo, cloruro de benzal y el benzotricloruro, además de una cierta cantidad de cloruro de hidrógeno que sale - por la parte superior del reactor.

Al reactor se le agrega un 30% de exceso de tolueno con el fin de que reaccione con todo el cloro, y así evitar problemas de corrosión en el resto del equipo.

La mezcla de clorados y el exceso de tolueno entran a la columna de destilación D1, en dónde se separa todo el tolueno de la mezcla y se condensa en E1, y se introduce nuevamente - en el reactor.

Una parte del destilado que se condensa se recircula a - la columna D1. En la base de la torre salen los productos -- clorados hacia el rehervidor B1, de donde parte se recircula a D1 y el resto se envía a la columna D2 en donde se efectúa la separación del cloruro de bencilo por el domo de la misma, se condensa en E2, y se envía el cloruro de bencilo para su - envasado.

Los productos clorados más pesados salen por la base y - entran al rehervidor B2 y se introducen a la columna D3 en la que por la parte del domo se separa el cloruro de benzal y -- por la parte de la base el benzotricloruro.

Como en los casos anteriores, se introducen al condensador E3 y al rehervidor B3 respectivamente, para ser envasados.

El ácido clorhídrico que salió por la parte superior del reactor entra a la columna de absorción S1 y el gas cloro que sale de ésta entra a la columna de absorción S2.

Por la parte superior de ambas entra agua que servirá como disolvente para formar una solución de ácido clorhídrico - al 30% de concentración, comunmente utilizada en el mercado.

El grado que se obtiene el cloruro de bencilo es del --- 95% que es el grado permiscible de este producto en el mercado.

#### Condiciones de seguridad.

Se requiere que el equipo que entre en contacto con el - ácido clorhídrico sea resistente a la corrosión como por ejem plo los siguientes materiales: fierro forjado con recubrimien to de plástico, plomo o fibra de vidrio.

Es también importante tomar en consideración el envase - del cloruro de bencilo, este puede ser almacenado en garrafo nes de vidrio ó en tambores de acero, sin embargo, en este úl timo caso, para evitar su descomposición deberán agregarse pe

queñas cantidades de un estabilizador que puede ser bicarbonato de sodio o calcio.

Debido a que el cloruro de bencilo produce irritación al contacto con la piel, se debe manejar con mucha precaución. - En caso de contacto se debe lavar con abundante agua y jabón, igualmente ha de tenerse precaución en inhalar sus vapores, - ya que estos son muy irritantes a los ojos y las mucosas, es además muy conveniente que el área donde se encuentre el equipo esté adecuadamente ventilada.

Es de suma importancia la adquisición de equipos que -- tengan como función la de dar cumplimiento a las disposiciones legales relativas a la preservación del medio ambiente debido a que se manejan materiales altamente contaminantes al medio ambiente como son el tolueno y el cloro.

## CAPITULO IV

## TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.

## Tamaño de la planta.

Se puede definir el tamaño de la planta como la capacidad de producción durante un período de tiempo de funcionamiento, en este caso de un año de operación, que va a constar de 330 días de 24 horas cada uno.

Será óptima la capacidad de producción cuando los resultados económicos obtenidos sean favorables o sea cuando la rentabilidad obtenida sea máxima y a costos mínimos.

Para la capacidad de una planta se deben considerar tres aspectos que son:

## a).- El mercado o la demanda que piensa satisfacerse.

Este aspecto se trató en el capítulo III en el cual se realizaron proyecciones de la demanda del cloruro de bencilo para la fabricación de otros productos como el alcohol bencílico, ftálatos de bencilo y otros productos.

Estas proyecciones fueron estimadas para satisfacer toda la demanda interna.

## b).- Costo de producción.

En los costos de producción influyen los fletes, lo cual afecta también a la localización de la planta.

El costo de inversión por unidad de capacidad instalada es menor a medida que aumenta el tamaño de la planta.

ta. Los costos unitarios de producción se reducen al dividirse los costos fijos entre un mayor volumen de producto.

c).- Aspecto técnico.

Esto es debido a que hay procesos de fabricación que exigen una escala mínima para ser aplicables a nivel comercial como puede ser el caso de requerir equipo tan pequeño, que no se consiga en medidas estandar, és to haría al equipo tan costoso que quedaría fuera de consideración. Aplicando ésto al proyecto, los resultados económicos que se evalúen serán los que dictaminen si hay un problema semejante o no en el proceso del cloruro de bencilo.

Debido a las economías de escala, se propone la instalación de una planta con capacidad de producción de 3 000 toneladas anuales de cloruro de bencilo, que aún cuando esté por sobre el límite de la demanda actual estimada, puede justificarse por los costos menores, resultado de la mayor escala de producción.

De acuerdo con el siguiente cuadro, se puede visualizar el programa propuesto de producción y el nivel de aprovechamiento de la capacidad instalada en cada año de operación, esto es en forma tentativa, por lo tanto se podrá lograr con esta capacidad satisfacer la deman da hasta donde se ha proyectado.

De la misma manera como se habla de la capacidad de --

producción de cloruro de bencilo, podría hablarse de la capacidad de cloración de las toneladas de tolueno.

Año	1986	1987	1988	1989
toneladas de cloruro de bencilo.	1500	1860	2580	3000
porcentaje de aprovechamiento.	50	62	86	100

Concluyendo las anteriores consideraciones acerca de la capacidad de producción que mejor se justifique, puede decirse que se propone una capacidad de planta para que se instale por una o más empresas industriales y que ésta capacidad será suficiente para abastecer el consumo futuro de cloruro de bencilo, aunque desde luego no se descarta de que la posibilidad de que la demanda crezca en forma vertiginosa cuando los fabricantes de plastificantes del anhídrido ftálico comprueben, en la práctica, que el alcohol bencílico sustituye ventajosamente al 2-etil-hexanol, tanto técnica como económicamente. Cuando así sea la capacidad que se propone instalar para fabricar cloruro de bencilo será aprovechada totalmente.

En el presente trabajo se está proponiendo una capacidad como resultado del estudio de mercado y no como la capacidad económicamente ideal para una planta productora de cloruro de bencilo.



### Localización de la planta.

La localización de una planta industrial se basa esencialmente en las mismas consideraciones que las que se toman en cuenta para decidir su tamaño, y tiene como objetivo obtener un costo mínimo unitario de operación, es decir, hacia la obtención de una rentabilidad máxima.

La determinación del lugar en donde se va a instalar una planta se suele llevar a cabo en dos etapas: en la primera se selecciona el área general en que se estime conveniente localizar la planta, y en la segunda, se elige la ubicación precisa para efectuar su instalación.

De la selección adecuada de todos y cada uno de los diversos factores que influyen sobre la localización de la planta, dependerán de las probabilidades de que se obtengan los resultados económicos esperados.

Los factores más importantes en la localización son:

- a).- La localización del mercado de consumo.
  - b).- La localización de las fuentes de materia prima.
  - c).- Disponibilidad y características de la mano de obra.
  - d).- Facilidad de transporte.
  - e).- Disponibilidad y costo de energía eléctrica y combustibles.
  - f).- Fuentes de suministro de agua.
  - g).- Disponibilidad y costos de terrenos industriales.
- A continuación se definirá cada punto de estos.

## a).- Localización del mercado de consumo.

Más del 80% de los centros posibles de consumo de cloruro de bencilo se localizan en el Estado de México.

Estos incluyen las industrias productoras de plásticos de anhídrido ftálico, fabricantes de alcohol bencílico y otros derivados del mismo.

La distancia que debe recorrer el producto desde la planta hasta el mercado de consumo, junto con sus características y las tarifas de transporte, determinarán el costo de esta operación.

El costo de transporte, por lo tanto, será directamente proporcional a la distancia que recorra el producto. Al acercarse la planta a las áreas de consumo, se reduce el costo de transporte del producto, pero puede incrementarse de manera significativa el costo de transporte de los insumos, de ahí que la localización de la planta consistirá esencialmente en efectuar una comparación de los costos de transporte y de las pérdidas económicas originadas por mermas en los volúmenes y en las calidades de las materias primas y productos.

## b).- La localización de las fuentes de materia prima.

Los únicos centros de abasto del tolueno se encuentran en Minatitlán y la Cangrejera ambos localizados en el Estado de Veracruz, por lo que en cualquier otro lugar del país en que se instale la plan

ta, este insumo tendría cargado a su precio, el costo del flete correspondiente.

El tolueno representa el 52% de las materias primas. Existen 10 plantas de cloro en el país, de ellas el 35% de la producción se localizan en tres plantas - en el Edo. de México.

El cloro representa el 48% de las materias primas. En general habrá una tendencia a que la planta industrial quede orientada hacia el mercado de consumo o de abastecimiento, en función de las características de las materias primas y de los productos. Es conveniente señalar a este respecto, que en materia de transporte y manejo no solo interesan los pesos de los materiales, sino también sus densidades aparentes, su estado físico y sus grados de perecibilidad todos los cuales determinan las tarifas correspondientes.

En general las materias primas pagan menos tarifas que los productos terminados; sin embargo, la cantidad de materias primas que se requiere para elaborar un volumen determinado de producto, puede originar que convenga instalar la planta en la zona de producción de las materias primas.

De lo antes señalado se infiere que para efectuar los cálculos necesarios para el análisis de localización de la planta industrial, se requiere además-

de los resultados de los estudios de mercado de consumo y abastecimiento, los derivados de los balan-ces de materia que forma parte de la ingeniería de-proyecto.

c).- Disponibilidad y características de la mano de obra

Los recursos humanos y materiales más importantes - en la República Mexicana se localizan en el Distri-to Federal y en zonas aledañas, tal es el caso de - la oferta de la mano de obra calificada en el área- industrial, comunicaciones inmejorables, agua, com-bustibles, etc. Los salarios mínimos son menores - en esta zona que en el Edo. de Veracruz.

En las industrias en las que la mano de obra juega- un papel preponderante, su localización depende en- alto grado de la oferta de dicha fuerza de trabajo.

d).- Facilidad de transporte.

En los casos en que la planta industrial esté pro e- yectada para manejar materias primas o productos pesados o voluminosos a grandes distancias, resulta - conveniente orientar su localización hacia los lugares donde exista conexión con transporte marítimo- o con ferrocarril, debido a que estos sistemas de - transporte tienen tarifas más reducidas que otros.

e).- Disponibilidad y costo de energía eléctrica y com - bustibles.

La disponibilidad de energía eléctrica puede ser un

factor determinante en la localización de la planta-  
cuya operación en condiciones rentables depende en -  
alto grado del suministro a bajo costo de este insu-  
mo.

Cuando en una posible localización no resulta facti-  
ble llevar a cabo la conexión de la planta a las -  
líneas principales de transmisión de energía eléctrica  
ca con una inversión razonable, o cuando la tarifa -  
de consumo es muy alta, se tienen dos alternativas:-  
instalar una central generadora de energía eléctrica  
para cubrir sus necesidades, o bien considerar otra-  
localización.

f).- Fuentes de suministro de agua.

El agua es un insumo indispensable en la mayoría de-  
las industrias. Su disponibilidad y características  
pueden influir en la localización de una planta.

En ciertas localizaciones puede haber abundancia de  
agua pero su calidad podría no ajustarse a los requere-  
mientos de la planta y requerir, por lo tanto sis-  
temas adecuados de tratamiento, que en algunos casos  
podrían ser muy costosos.

g).- Disponibilidad y costos de terrenos industriales.

Respecto a la disponibilidad y costos de terrenos in-  
dustriales, no se trata en este trabajo de escoger -  
un terreno específico donde quedará instalada la in-  
dustria por la sencilla razón de que éste no -----

es un proyecto de inversión.

Deberá elegirse para la localización de la planta - un parque o ciudad industrial que se encuentre en - el Estado de México debido a que gran parte del mer- cado se haya en dicho Estado, casi la mitad de los- insumos requeridos pueden ser abastecidos en el mis- mo, ya que los recursos humanos y materiales dispo- nibles en este lugar, son sobrados para la planta - de cloruro de bencilo.

El costo promedio dentro del área elegida es de -- 12 000 \$/m<sup>2</sup> aproximadamente y abarca zonas como son : Cuautitlán, Tlalnepantla, Lechería, etc., las cua- les cuentan con las facilidades necesarias para la- planta, por lo que se dejarán factibles todas ellas para el efecto de localización.

## CAPITULO V

## EVALUACION DEL PROCESO.

## Propiedades de las materias primas.

Como ya se vió desde el capítulo III, el proceso de fabricación del cloruro de bencilo requiere de tolueno y cloruro como materias primas básicas. Las propiedades de ambas materias primas para la producción de cloruro de bencilo son las siguientes:

## 1.- Tolueno ( metil benceno ).

Industriamente se conoce con el nombre de Toluol.

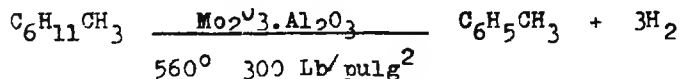
Es un líquido incoloro insoluble en agua. Sus características físicas son las siguientes:

Peso molecular	92.0
Densidad relativa	0.866 a 20°C
Temperatura de ebullición	110.8°C
Temperatura de fusión	-95.0°C

## Métodos de obtención:

El tolueno se obtiene actualmente por:

- a).- Reformación catalítica del metil ciclohexano mediante la siguiente reacción:



- b).- Destilación del alquitrán.

## 2.- Cloro.

El cloro es un reactivo no inflamable, licuado, tóxico industrial, es un elemento químico básico, puede reaccionar con muchas materias orgánicas de forma corrosiva y en algunos casos explosiva, especialmente con el acetileno, el aguarrás, el éter, el amoniaco gaseoso, los hidrocarburos, la mayor parte de los gases combustibles y los metales finamente pulverizados.

La reactividad del cloro, exige atención especial, respecto a los materiales con que se construyen los recipientes, tuberías, equipo, etc.,.

Por debajo de  $1100^{\circ}\text{C}$  se puede emplear generalmente el a cero, el cobre, el hierro y el plomo.

En contacto con agua, forma ácido hipocloroso y clorhídrico a  $0.0^{\circ}\text{C}$ .

## Características físicas del cloro:

Peso molecular	35.5
Estado físico	gas ó líquido
Punto de ebullición	$-34.0^{\circ}\text{C}$
Densidad del líquido ( $0.0^{\circ}\text{C}$ )	1.47 g/m <sup>3</sup>
Densidad del gas ( $0.0^{\circ}\text{C}$ )	3.2 g/lt.
Calor latente de vaporización	68.0 Cal/g
Concentración permisible	1.0 p.p.m.
Color	Amarillo verdoso.

## Método de obtención:

El método de obtención más utilizado para el cloro, a escala industrial, es el proceso electrolítico que con



siste en la electrolisis de una solución de sal común, el cloro es depositado en el ánodo mientras que el sodio es depositado en el cátodo.

La reacción se verifica en celdas electrolíticas y sus ecuaciones son las siguientes:



En el laboratorio, dos de los métodos más usados son:



Subproductos del proceso y sus propiedades.

El proceso de fabricación del cloruro de bencilo implica la consecuente obtención de tres subproductos que son: cloruro de benzal, benzotricloruro y ácido clorhídrico.

Desde luego, los dos subsecuentes derivados clorados del tolueno al cloruro de bencilo revisten, para el presente trabajo, una importancia secundaria, más no por eso se han de dejar de considerar, máxime que aunque a escala reducida deben colocarse en el mercado.

No obstante, lo anterior podría llegar a fabricarse en cantidades considerables en el supuesto caso de que sobrevengan irregularidades en la demanda del cloruro de bencilo, debido a cualquier motivo impredecible en cualquier momento. Esta alternativa resultaría factible debido a que el proceso que se estudia es sumamente flexible en cuanto a la conversión de volúmenes de clorados que se deseen.

Se considerarán para este proyecto las máximas cantidades.

des de cloruro de bencilo y las mínimas cantidades de subproductos.

A continuación se presenta un panorama general, tanto de mercado como técnico, de los subproductos que se obtendrán:

1).- Cloruro de benzal ( o de bencilideno )  $C_6H_5CHCl_2$  .

a) Mercado.

De los productos bencílicos que se proponen fabricar, el cloruro de benzal es el que se ha venido importando en mayor escala, estimandose que en los -- próximos años hábra una gran demanda de este producto.

De acuerdo a lo planeado, las ventas de este mate -- rial estará limitada por el mínimo volúmen que se -- producirá.

Como la finalidad de este estudio no es el cloruro -- de benzal, pero en un momento dado se podría llegar a producir una gran cantidad de éste para su venta. La mayor utilización local del cloruro de benzal, -- se estima que es para transformarlo en benzaldehído , en vista de que las importaciones de éste se han -- reducido hasta casi desaparecer.

A la fecha se tiene conocimiento que existe una --- planta en ampliación y proyecto para producir cloru -- ro de benzal y cloruro de bencilo.

b) Propiedades físicas y químicas.

El cloruro de benzal es un líquido refrigerante, in -- soluble en agua, pero soluble en alcohol y éter, --

que tiene las siguientes constantes físicas:

Peso molecular	161.0
Densidad relativa	1.2557
Temperatura de ebullición	205.0°C
Temperatura de fusión	-17.0°C

El cloruro de benzal se transforma en aldehído benzoico por: tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, por ebullición con hidróxido de potasio o por caletamiento con ácido oxálico. El método más usado industrialmente es la hidrólisis del cloruro de benzal en presencia de un ácido o álcali.

Debido a que el grado de halogenación del tolueno depende de la cantidad de cloro consumido, para favorecer la formación del cloruro de benzal, la cloración deberá ser más intensa, y de ser factible, utilizarse un catalizador como el pentacloruro de fosforo.

2).- Benzotricloruro ( o cloruro de bencenilo )  $C_6H_5CCl_3$  .

a) Mercado.

Este producto es el que para el presente estudio tiene menor importancia, y el que por ende proyecta fabricarse en menor cantidad, ya que es un producto intermedio para la producción de ácido benzoico, que tiene gran aplicación industrial.

b) Propiedades físicas y químicas.

Es un líquido incoloro, refrigerante, de olor característico y penetrante, se descompone por exposi --

ción al aire o luz, insoluble en agua, pero soluble en alcohol, benceno y éter. Sus características físicas son:

Peso molecular	195.5
Densidad relativa	1.380
Temperatura de ebullición	220.8°C
Temperatura de fusión	-22-0°C

El benzotricloruro puede transformarse en ácido benzoico por calentamiento con agua a 50°C con un catalizador como fierro, o más rápidamente con ácido sulfúrico o álcalis. En su producción se obtiene aldehído benzoico como producto secundario.

En el caso de que se desee aumentar su rendimiento, la cantidad de cloro consumida deberá ser aún mayor que para el cloruro de benzal.

### 3).- Acido clorhídrico HCl .

#### a) Mercado.

El consumo nacional se satisface en un 100% con producción nacional y solo se importa una mínima cantidad de ácido clorhídrico de especificaciones especiales, la capacidad instalada en el país, para producir ácido clorhídrico en sus distintas presentaciones es superior a la demanda del país.

En vista de lo anterior se estima que pudiese existir algunas dificultades de colocarlo en el mercado local, sin embargo, considerando que su producción en este proyecto representaría una mínima parte del

consumo nacional, y por lo tanto se puede suponer - que podrá tener en un momento dado cabida en el mer cado.

b). Propiedades físicas.

El ácido clorhídrico que resultaría del proceso es- una solución acuosa de un 30% de cloruro de hidróge no y tiene las siguientes características o propie- dades físicas.

Peso molecular	36.5
Densidad relativa	1.16 a 20°C
Temperatura de ebullición	109.0°C
Temperatura de fusión	-102.0°C

Es un líquido ligeramente amarillo, muy soluble en- agua, alcohol y éter.

Volumenes de los subproductos en el proceso.

Tomando como punto de referencia al total de productos - resultantes en una partida de fabricación, los porcentajes -- que se obtendrían, dándole obiamente la prioridad al cloruro- de bencilo serían los siguientes:

cloruro de bencilo	41.7%
cloruro de benzal	5.7%
benzotricloruro	1.4%
ácido clorhídrico	51.2%

Consumo de materias primas en el proceso.

Mediante datos de Merck Index se sabe que el producto y subproductos de proceso tienen los porcentajes de cloro y tolueno como sigue:

	% Cl <sub>2</sub>	% de Tolueno
cloruro de bencilo	28	72
cloruro de benzal	44	56
benzotricloruro	53	47
ácido clorhídrico al 30%	30	--

Con el cuadro num. 6 se observan los volúmenes totales de materia prima que se requerirán para cumplirse los programas de producción. Con los porcentajes antes indicados puede estimarse, que volúmenes de cloro y tolueno se requerirán para que la planta opere.

#### Materiales de envase.

Un envase que se considera apropiado para almacenar derivados clorados del tolueno y que resulta accesible en el mercado nacional, es el tambor de acero inoxidable 18 con recubrimiento fenólico para evitar su descomposición, estos tambores tienen una capacidad nominal de 208 litros. Respecto al envase del ácido clorhídrico, resultaría de mayor conveniencia el tener un depósito grande con recubrimiento de resina poliéster y descargarlo a una pipa de material adecuado para el manejo de este ácido y distribuirlo de esta manera.

Con respecto a la materia prima, se considera que debe--

rán tenerse tanques de almacenamiento, tanto de cloro como de tolueno que serán llenados mediante carros tanque periódicamente según el inventario requerido.

SOLO LECTURA

CUADRO NUM. 6

CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS  
( TON. )

CONSUMO DE CLORO	1986	1987	1988	1989
CLORURO DE BENCILO	420	521	722	840
CLORURO DE BENZAL	660	818	1135	1320
BENZOTRICLORURO	795	986	1367	1590
ACIDO CLORHIDRICO	450	558	774	900
TOTAL DE CLORO	2325	2883	3999	4650
CONSUMO DE TOLUENO				
CLORURO DE BENCILO	1080	1339	1858	2160
CLORURO DE BENZAL	840	1042	1445	1680
BENZOTRICLORURO	705	874	1213	1410
TOTAL DE TOLUENO	2625	3255	4516	5250



## CAPITULO VI

## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

La mayor importancia en la evaluación del proceso radica en determinar los consumos reales de materia prima necesaria para obtener las cantidades de cloruro de bencilo que exigen las demandas que han sido proyectadas.

Para lograr el mencionado propósito, resulta indispensable el balance de materia de la planta para la capacidad propuesta. Esto permitirá además determinar el costo de los equipos necesarios en el proceso, tema que no será tratado en este proyecto.

Las bases de cálculo se han considerado de la forma siguiente:

- a).- La máxima cantidad de cloruro de bencilo que será producida es de 3 000 ton/año, la que según los rendimientos prácticos del proceso dará las siguientes cantidades de subproductos:

<u>Subproductos</u>	<u>% de Producción</u>	
	<u>total</u>	<u>ton/año.</u>
Cloruro de benzal	5.7	409.7
Benzotricloruro	1.4	101.4
Acido clorhídrico	51.2	3 682.0

- b).- El balance se realizará en kilogramos al día, considerando que se operará 330 días al año.

Se han numerado todas las corrientes importantes del proceso de acuerdo con el diagrama num. 2, sin embargo, sólo se calcularán las que afectan su operación global.

Corriente 17.- Salida de producto de cabeza de la columna D3 a límite de batería.

cloruro de benzal 95%

cloruro de bencilo 5%

Según rendimientos, se producirán 409.7 ton/año = 1241.5 Kg/día, pero la cantidad neta de cloruro de benzal será: --- 1179.4 Kg/día, ya que tiene una pureza del 95% .

Corriente 20.- Salida de producto de cola de la columna D3 a límite de batería.

benzotricloruro 95%

cloruro de benzal 5%

Por rendimientos se producen 101.4 ton/año = 307.3 Kg/día, de los que la cantidad neta de este subproducto será: 292.0 Kg/día de benzotricloruro.

Corriente 14.- Entrada de clorados pesados a la columna D3 .

	<u>%</u>	<u>Kg/día.</u>
cloruro de benzal	77.3	1295.5
benzotricloruro	18.7	290.0
cloruro de bencilo	4.0	62.0

Dandonos un total de 1546.7 Kg/día.

Corriente 12.- Salida de producto de cabeza de la columna D2 a límite de batería.

cloruro de bencilo            95%

cloruro de benzal            5%

La producción de cloruro de bencilo grado técnico (95%) es de 3 000 ton/año = 9091.0 Kg/día, de los que 8636.4 Kg/día corresponden a cloruro de bencilo puro.

Corriente 8.- Entrada de productos clorados del tolueno a la columna D2.

	%	Kg/día.
cloruro de bencilo	81.76	8677.8
cloruro de benzal	15.51	1650.0
benzotricloruro	2.72	290.0
Total		=10617.8

Corriente 23.- Salida de productos de cabeza de la columna D1, o exceso de tolueno en el reactor R.

Esta corriente es el tolueno en exceso que será introducido al reactor, y representa el 30% del tolueno total presente en el resto del proceso, y que es el 72% del cloruro de bencilo, el 56% del cloruro de benzal y el 47% del benzotricloruro es decir:

$$6262.5 + 924.0 + 136.0 = 7322.5 \text{ Kg/día}$$

$$= 7322.5 \times 0.30 = 2196.7 \text{ Kg/día.}$$

Corriente 4 y 5.- Salida de productos clorados y tolueno sin reaccionar, del reactor R, o entrada de los mismos a la columna D1.

Ambas corrientes se han establecido iguales puesto que el tanque T1 será sólo eventualmente utilizado para separar el cloro que accidentalmente saliera sin reaccionar del reactor.

$$= 12835.3 \text{ Kg/día.}$$

Corriente 1.- Entrada de tolueno al reactor R.

El tolueno que entrará al reactor por esta corriente será de 7322.5 Kg/día, que es el contenido en los derivados clorados, y que se calculo en la corriente 23 .

Corriente 2.- Entrada de cloro seco al reactor R.

El volumen real de cloro que se consume en la reacción es de 2178.8 toneladas - por 2437.4 toneladas de tolueno, es decir, de 0.894 toneladas de cloro por tonelada de tolueno en la corriente 1, esto es:

$$= 6546.3 \text{ Kg/día.}$$

Corriente 3.- Salida de ácido clorhídrico del reactor R.

Esta corriente de gas se establece por-

diferencia de las corrientes:

$$1 + 2 + 23 = 3 + 4 \quad \& \text{ sea:}$$

$$7322.5 + 6546.3 - 12835.3 + 2196.8 = - \\ = 3230.3 \text{ Kg/día que es el valor para la} \\ \text{corriente 3 .}$$

Corriente 22.- Agua para absorción de ácido clorhídrico en las columnas de absorción S1 y S2 Debido a que se desea ácido clorhídrico al 30% de concentración, la cantidad total de agua en ambas columnas será:

$$= 7538.8 \text{ Kg/día.}$$

Corriente 15.- Acido clorhídrico al 30% a límite de batería.

$$= 10769.7 \text{ Kg/día} = 3554.0 \text{ ton/año.}$$

Se han calculado las siguientes corrientes del diagrama de flujo de la planta, que aunque no afectan el balance global de la misma, serán utilizadas en el balance de energía.

Corriente 16.- Recirculación de productos del domo de la columna D3 .

cloruro de benzal	95%
cloruro de bencilo	5%

$$= 1862.2 \text{ Kg/día.}$$

Corriente 19.- Recirculación de productos de base de la columna D3 .

benzotricloruro	95%
cloruro de benzal	5%

= 152.6 Kg/día.

Corriente 18.- Salida de productos de base de la columna D3.

benzotricloruro	95%
cloruro de benzal	5%

= 457.8 Kg/día.

Corriente 10.- Recirculación de productos del domo a la columna D2 .

cloruro de bencilo	95%
cloruro de benzal	5%

= 4545.8 Kg/día.

Corriente 9.- Salida de productos del domo de la columna D2.

cloruro de bencilo	95%
cloruro de benzal	5%

= 13637.4 Kg/día.

Corriente 13.- Recirculación de productos de base a la columna D2.

cloruro de benzal	77.3%
benzotricloruro	18.7%
cloruro de bencilo	4.0%

= 773.4 Kg/día.

Corriente 11.- Salida de productos de base de la columna D2 .

cloruro de benzal	77.3%
benzotricloruro	18.7%
cloruro de bencilo	4.0%

= 2320.0 Kg/día.

Corriente 7.- Recirculación de productos de base de la columna D1 .

cloruro de bencilo      81.76%

cloruro de benzal      15.51%

benzotricloruro      2.72%

= 5318.7 Kg/día.

Corriente 6.- Salida de productos de base de la columna D1 .

cloruro de bencilo      81.76%

cloruro de benzal      15.51%

benzotricloruro      2.72%

= 15957.0 Kg/día.

Corriente 24.-Recirculación de tolueno a la columna D1

= 10968.1 Kg/día.

Corriente 21.-Salida de tolueno del domo de la columna

D1.

= 3295.5 Kg/día.

### Balace de energfa.

El balace de energfa que se ha realizado tiene como únicos objetivos el visualizar en forma general y aproximada las entradas y salidas de calor del proceso, las temperaturas que serán manejadas en la planta y los consumos necesarios de a - gua de vapor y enfriamiento. Esto ayudará igualmente a esti - mar las inversiones de algunos equipos en los que haya involu - crada alguna transferencia de calor. No se ha profundizado - en el mencionado balace de energfa, puesto que ello implica - ría entrar en cálculos detallados que salen fuera de las in - tenciones de esta tesis.

La secuencia que se seguirá en los cálculos será primeramente fijar las temperaturas y presiones de operación, luego - calcular el flujo aproximado de vapor y de agua de enfriamien - to.

#### a).- Temperatura de operación.

Se ha tomado en consideración para este efecto, las diferencias de temperaturas de ebullición entre el nivel del mar y el Estado de México, debidas a los cambios - de presiones en ambos lugares. De tal forma que serán las siguientes:

Reactor.

Temperatura de entrada de materias primas =  $25^{\circ}\text{C}$



Temperatura de reacción = 95°C (temperatura de ebullición del tolueno a 585 mm de Hg.).

Torre 1.

Temperatura de entrada = 95°C aprox.  
 Temperatura de salida del domo = 95°C  
 Temperatura de salida de la base = 158°C calculada.

Torre 2.

Temperatura de salida del domo = 155°C  
 Temperatura de salida de la base = 182°C

Torre 3.

Temperatura de entrada = 183°C aprox.  
 Temperatura de salida del domo = 182°C  
 Temperatura de salida de la base = 190°C

Torre de absorción.

Temperatura de entrada del gas = 95°C aprox.  
 Temperatura de entrada de agua = 15°C  
 Temperatura de salida del ácido = 20°C aprox.

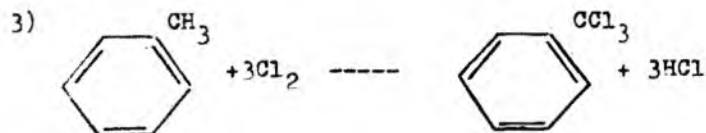
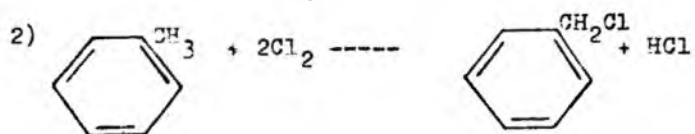
b).- Flujos de calor.

Reactor.

Calores de formación de productos en el reactor.

Estos calores se han calculado en base a las energías de enlace de reactivos y productos para las tres reacciones que se llevan a cabo, que son:





$$Q_1 = Q(\text{tolueno}) + Q(\text{Cl-Cl}) - Q(\text{cloruro de bencilo}) - Q(\text{HCl}) .$$

$$Q_1 = 1555.8 + 58 - 1536 - 103 = -25.2 \text{ Kcal/mol} .$$

$$Q_2 = Q(\text{tolueno}) + 2Q(\text{Cl-Cl}) - Q(\text{cloruro de benzal}) - 2Q(\text{HCl}) .$$

$$Q_2 = 1555.8 + 2(58) - 1516.2 - 2(103) = -50.4 \text{ Kcal/mol} .$$

$$Q_3 = Q(\text{tolueno}) + 3Q(\text{Cl-Cl}) - Q(\text{benzotricloruro}) - 3Q(\text{HCl}) .$$

$$Q_3 = 1555.8 + 3(58) - (+1491.4) - 3(103)$$

$$Q_3 = -70.6 \text{ Kcal/mol} .$$

De acuerdo con el balance de materia, las cantidades molares netas de productos que se obtienen a la salida del reactor en un día son:

Base de cálculo: 1 día de operación

$$n_1 = 71\,864.9 \text{ g mol} .$$

$$n_2 = 10\,248.5 \text{ g mol} .$$

$$n_3 = 1\,479.6 \text{ g mol} .$$

Multiplicando los g-mol de cada producto por sus respectivas energías de enlace por mol, se obtie--

nen los calores de formación para cada reacción. - La suma de éstas representa el calor total que se desprende durante la reacción, y es:

$$Q = - 2.431 \times 10^6 \text{ Kcal.}$$

Que es el calor necesario para elevar la temperatura de los reactivos de 25°C hasta la temperatura de ebullición del tolueno en el Edo. de México. - Estos han sido obtenidos sumando las entalpías de los reactivos de la siguiente manera:

1) Cloro.

$$\Delta H = W \bar{C}_p \Delta T = 106\ 148.3 \text{ Kcal.}$$

2) Tolueno.

$$\Delta H = W \int_{T_1}^{T_2} C_{pd}T = W \int_{25}^{95} (a + bT + cT^2) dT$$

resultando que:

$$\Delta H = 150\ 987.0 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H \text{ total} = 257\ 135.2 \text{ Kcal.}$$

De esta manera, por diferencia entre el calor de formación total y el  $\Delta H$  necesario para elevar la temperatura de los reactivos de 25 a 95°C, puede observarse que hay un desprendimiento neto de calor en el reactor de 2 174 840.1 Kcal., mismas que deberán ser removidas.

El resto de las entalpías han sido calculadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta H = w\lambda \quad \text{y} \quad \Delta H = W\bar{C}_p\Delta T$$

Torre 1 .

$$\Delta H \text{ domo} = 286 \ 080 \text{ Kcal .}$$

$$\Delta H \text{ base} = 1 \ 523 \ 466.0 \text{ Kcal .}$$

Torre 2 .

$$\Delta H \text{ domo} = 1 \ 302 \ 289.7 \text{ Kcal .}$$

$$\Delta H \text{ base} = 241 \ 578.62 \text{ Kcal .}$$

Torre 3 .

$$\Delta H \text{ domo} = 193 \ 841.4 \text{ Kcal .}$$

$$\Delta H \text{ base} = 51 \ 595.862 \text{ Kcal .}$$

Columna de absorción.

El calor de dilución del ácido clorhídrico en agua es:

$$\Delta H = -37.16 \text{ Kcal/mol .}$$

multiplicando  $\Delta H$  por los moles de  $\text{HCl}_{(g)}$  se obtiene que  $\Delta H = -1 \ 590 \ 389 \text{ Kcal.}$ , calor que por desprenderse del sistema, deberá ser removido del mismo.

c).- Consumo de agua y vapor.

Base de cálculo: 1 día de operación.

Reactor.

La cantidad de agua necesaria en el reactor para remover  $2 \ 174 \ 840.1 \text{ Kcal.}$  fué calculada por:

$$W = \frac{Q}{\lambda} = \frac{2174840.1}{527.8} = 97.76 \text{ Kg. de vapor saturado a } 25 \text{ Lb/pulg.}^2$$

Se introduce agua líquida saturada y se obtiene vapor saturado, por lo que no hay calor sensible involucrado.

Torre 1 .

Agua de condensación.

$$W = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{286\,080}{1(35-15)} = 14\,304 \text{ Kg. (agua de 15 a } 35^\circ\text{C).}$$

Vapor para el hervidor.

$$W = \frac{Q}{\lambda} = \frac{1\,523\,466.2}{537.6} = 2\,833.83 \text{ Kg. (vapor saturado a 15 Lb/pulg}^2\text{).}$$

Torre 2 .

Agua de condensación.

$$W = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{1\,302\,289.7}{1(35-15)} = 65\,114.5 \text{ Kg. (de agua de 15 a } 35^\circ\text{C) .}$$

Vapor para el hervidor.

$$W = \frac{Q}{\lambda} = \frac{241\,578.62}{527.8} = 457.71 \text{ Kg. (vapor saturado a 25 Lb/pulg}^2\text{) .}$$

Torre 3 .

Agua de condensación.

$$W = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{193\,841.38}{1(35-15)} = 9\,692.1 \text{ Kg. (agua de 15 a } 35^\circ\text{C) .}$$

Vapor para el hervidor.

$$W = \frac{Q}{\lambda} = \frac{51\,595.862}{527.8} = 97.8 \text{ Kg. (de vapor saturado a } 25 \text{ Lb/pulg}^2 \text{ ) .}$$

Columna de absorción.

Agua de absorción.

$$W = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{1\,590\,389}{1(35-15)} = 79\,519.45 \text{ Kg. (de agua de } 35 \text{ a } 15^\circ\text{C} \text{ ) .}$$

De lo anterior se obtiene que el vapor saturado a 25 Lb/pulg.<sup>2</sup> proveniente del reactor en cantidad de 4 120.6 Kg. serán suficientes para proporcionar los 3 389.3 Kg. necesarios en los tres hervidores de las columnas de destilación, como está indicado en el diagrama num. 2 .

Con respecto al agua de enfriamiento del proceso, la cantidad total necesaria será de 168.73 m<sup>3</sup> al día de agua.

Es de recomendarse en el proceso recircular el agua mediante una torre de enfriamiento a la que entraría agua a 35°C y saldría a 15°C para reutilizarse en los condensadores y columnas de absorción , como se puede observar en el diagrama num. 2 .

## CAPITULO VII:

## SELECCION Y DISEÑO DE LA BOMBA.

## Bombas centrífugas.

Las bombas se clasifican según dos consideraciones diferentes: (1) la que toma en consideración las características de movimientos de líquidos y (2) la que se basa en el tipo o aplicación específica para los cuales se ha diseñado la bomba.

Hay tres clases de bombas en uso común al presente: Centrífugas, Rotatorias y Reciprocantes. Nótese que estos términos se aplican solamente a la mecánica de movimiento de líquido y no al servicio para el que se ha diseñado una bomba.

Detalles: El Instituto Hidráulico de Estados Unidos, recomienda que la clasificación normal se considere como aplicada solamente al tipo de bombas.

El Instituto Hidráulico, en sus últimas normas (1955), clasifica las bombas centrífugas como: (1) de flujo radial, (2) flujo mixto, (3) flujo axial. Estas se subdividen a su vez según el número de pasos en simples o múltiples; tipo de carcasa: espiral, circular o difusor; posición de la flecha: horizontal, vertical; succión: sencilla o doble.

Con respecto a los materiales de construcción, el Instituto Hidráulico usa las designaciones siguientes: (1) con aditamentos de bronce, (2) toda de bronce, (3) bronce de composición específica, (4) toda de hierro, (5) con aditamentos de acero inoxidable, (6) toda de acero inoxidable.

Clase	Tipo	
Centrifuga	Voluta	Un solo paso
	Difusor	
	Turbina regenerativa	Pasos múltiples
	Turbina vertical	
	Flujo mixto	
	Flujo axial (impulsor)	
Rotatoria	Engrane	
	Alabe	
	Leva y Pistón	
	Tornillo	
	Lóbulo	
	Bloque de vaivén	Simplex
Reciprocante	Acción directa	Duplex
	Potencia (incluyendo manivela y volante)	Triplex
	Diafragma	Quádruplex
	Rotatoria + pistón	Etc.

Fig. 1 Tipos y clases de bombas modernas.

Características Generales: La siguiente consideración es una exposición general de las características habituales para una clase dada de bombas. La Tabla 1, sirve para encontrar una bomba para manejar capacidades relativamente peque--



TABLA 1 CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS MODERNAS.

	Centrífuga		Rotatoria		Reciprocante	
	Voluta y Difusor	Flujo axial	Tornillo y Engrane	Vapor de acción	Doble acción	Triplex
Tipo de descarga	Continuo	Continuo	Continuo	Pulsante	Pulsante	Pulsante
Máxima elevación normal de succ. en mts.	4.5	4.5	6.6	6.6	6.6	6.6
Líquido que maneja	Limpio, claro, sucio, abrasivo con alto contenido de sólidos.		Viscoso no abrasivo	Limpio y claro . . . . .		
Variación de la Presión de desc.	Baja o alta		Media	Pequeña a la máxima que se produce.		
Región de cap. habitual.	Pequeña a la mayor - obtenible		Pequeña a mediana.	Relativamente pequeña . . . . .		
Cómo una columna aumentada afecta Capacidad.	Disminuye		Nada	Disminuye	Nada	Nada
Potencia de ent.	Depende de la vel. espec.		Aumenta	. . . . . Aumenta. . . . .		
Cómo afecta una columna dism. Capacidad.	. . . Aumenta . . . .		Nada	Pequeño aumento	Nada	Nada
Demanda de pot.	Depende de la vel. específica.		Disminuye	. . . . . Disminuye . . . . .		

flas de líquidos claros y limpios con una columna alta. En cualquier problema de este tipo, hay que recordar que la columna de succión no debe de exceder el límite máximo recomendado. La capacidad en litros por minuto (lpm), determina el tamaño de la bomba.

El motor elegido para la bomba puede ser determinado por la velocidad de la bomba, balance de calor de la planta, disponibilidad de energía o costo de un combustible particular en el área.

#### Acción de bombas centrífugas.

**Bombas de Tipo Voluta:** Aquí el impulsor descarga en una caja espiral que se expande progresivamente, proporcionada en tal forma que la velocidad del líquido se reduce en forma gradual. Por este medio, parte de la energía de velocidad del líquido se convierte en presión estática.

**Bombas de Tipo Difusor:** Los álabes direccionales estacionarios rodean al rotor o impulsor en una bomba del tipo de difusor. Esos pasajes con expansión gradual cambian la dirección del flujo del líquido y convierten la energía de velocidad a columna de presión.

**Bombas de Tipo Turbina:** En este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en el que gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía.

**Tipos de Flujo Mixto y de Flujo Axial:** Las bombas de

flujo mixto desarrollan su columna parcialmente por fuerza centrífuga y prácticamente por el impulsor de los álabes sobre el líquido.

El diámetro de descarga de los impulsores es mayor que el de entrada. Las bombas de flujo axial desarrollan su columna por la acción de impulso o elevación de las paletas sobre el líquido.

El diámetro del impulsor es el mismo en el lado de succión y en el de descarga.

**Velocidad Específica:** Es la velocidad, en revoluciones por minuto a la que un impulsor deberá girar si su tamaño se reduce para dar un gasto de un litro por segundo contra una columna de un metro. Los impulsores para columnas altas tienen generalmente una velocidad específica baja y viceversa.

Cada diseño de impulsor tiene una región de velocidad específica para la cual está mejor adaptado.

#### Curvas de sistemas y bombas.

**Curvas características:** A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo (rotatorias y reciprocantes), una bomba centrífuga que se opere a velocidad constante puede suministrar cualquier capacidad de cero a un máximo, dependiendo de la columna, diseño y succión. Las curvas características (Graf. 3) muestran la relación existente entre columna de bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa.

**Velocidades Variables:** Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede dibujarse una gráfica (gráf. 4) que muestre el comportamiento completo para una elevación de succión dada. Para formar este tipo de gráfica, las curvas HQ se trazan para las diferentes velocidades que se consideran. Luego se sobreponen las curvas que tienen la misma eficiencia. Estas curvas de eficiencia, permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualesquiera condiciones de columna-capacidad dentro de los límites de la gráfica.

**Diámetro del Impulsor:** El primer grupo de curvas características (gráf. 3) muestra el comportamiento de la bomba para un diámetro de impulsor específico, generalmente el diámetro máximo. Habitualmente pueden usarse varios diámetros en una cubierta dada.

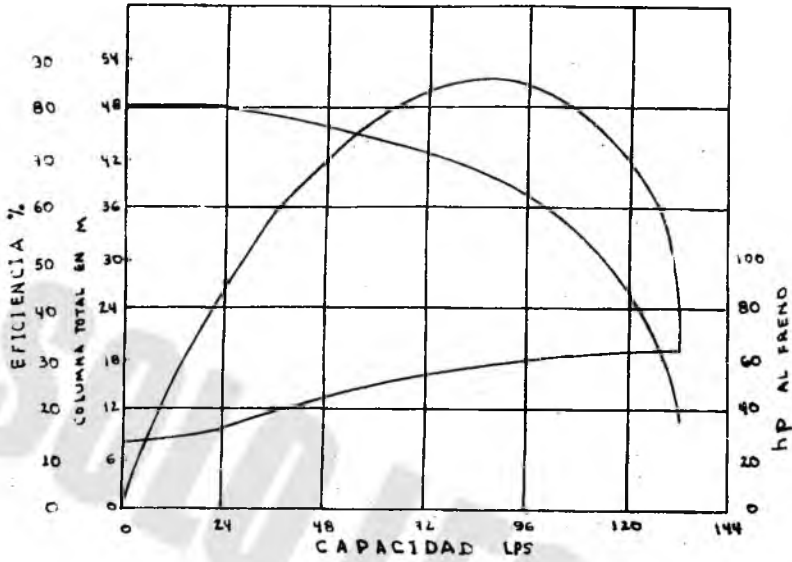
#### Clasificación según su aplicación.

**Aplicación:** Las bombas centrífugas están clasificadas como: alimentación a caldera, de propósito general, de sumidero, pozo profundo, de refinería (petróleo caliente), condensadas, de vacío (calefacción), de proceso, drenaje, desperdicios, circulación, cenizas, agua de retroceso, etc..

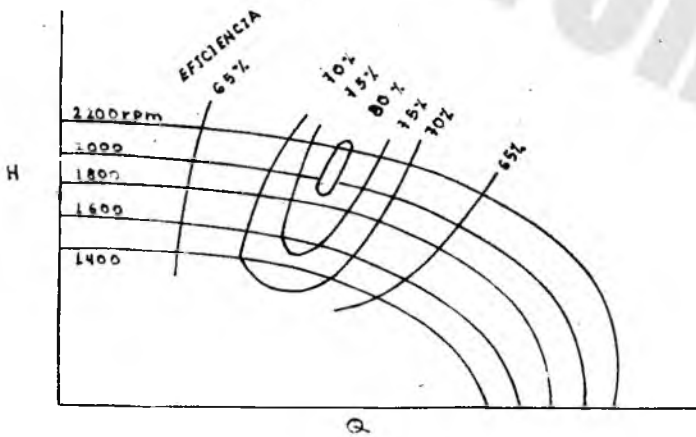
#### Diseños normales típicos de bombas.

**Bombas de Propósito General:** Estas están construidas generalmente para manejar líquidos frescos y limpios a temperatura ambiente o moderadas. Generalmente de un solo paso, estas unidades pueden ser de carcasa dividida y aditamentos nor

GRAF NUM 3 CURVAS CARACTERISTICAS TÍPICAS PARA UNA BOMBA CENTRIFUGA



GRAF NUM 4 CURVAS COLUMNA-CAPACIDAD PARA DISTINTAS VELOCIDADES.



males.

**Bombas Múltiples:** Las unidades horizontales de este diseño están construidas con carcasa ya sea del tipo barril o del tipo horizontalmente dividida.

**Bombas Acopladas Directamente:** Estas combinan la bomba y el motor en una sola unidad. Un diseño especializado no contiene sellos ni estoperos, y no necesita lubricante. Está diseñada para manejar un gran número de líquidos químicos.

**Bombas Inatas cables:** Pueden o no tener impulsores de paleta, manejan líquidos de drenaje, de proceso en fábricas de papel, líquidos viscosos y otros similares que contengan sólidos.

**Circulación de Agua Caliente:** Para servicio de calefacción similares, es muy popular el tipo de acoplamiento directo.

**Bombas Verticales:** Existen un gran número de diseños de bombas verticales. La bomba de sumidero es un ejemplo más común para este servicio, provisto de impulsor semiabierto de un solo paso, chumaceras de bola y chumaceras de mango para la flecha.

Las bombas verticales de flujo mixto se aplican generalmente en tareas de bombeo de gran capacidad con columnas desde reducidas hasta moderadas.

**Bombas Turbinas Regenerativas:** Dentro de su margen de aplicación tienen ventajas apreciables, incluyendo buenas características succión-elevación, una característica columna--

-capacidad muy levantada, y buena eficiencia.

**Impulsores:** Un impulsor se identifica en cuanto a la forma en que entra el líquido, los detalles de los álabes, y el uso para el que se destina.

Los impulsores abiertos tienen álabes unidos a un mame-s los central por medio de tabiques relativamente pequeños. -- Los impulsores semiabiertos tienen una tapa en un solo lado.- Los impulsores cerrados tienen tapas en ambos lados para encerrar el pasaje del líquido. Las unidades de succión simple - tienen la entrada del líquido en un lado. En el tipo de double succión el líquido entra en ambos lados.

**Carcasas:** Las carcasas de las bombas centrífugas pueden estar divididas horizontalmente, verticalmente o diagonalmente. Las carcasas divididas horizontalmente tienen las boquillas de succión como de descarga en la mitad inferior de la - carcasa. La mitad superior se quita para facilidad de inspección. Las carcasas divididas verticalmente se usan en diseños de acoplamiento directo o de manejo sobre marco. Las carcasas de barril se usan en bombas de difusor o en presión y - de espiral.

**Anillos de Desgaste:** Para evitar el desgaste costoso de la carcasa y del impulsor en la junta de operación, se instalan anillos de desgaste. Cuando estos anillos son movibles - se pueden desplazar a una fracción de su costo de un nuevo im pulsor o carcasa de la bomba, que de otra manera seria necesario.

**Chumaceras:** Los tipos más usados son los de balas, manguito y Kingsbury. Las chumaceras de balas pueden ser del tipo de una o dos hileras. Las chumaceras de manguito pueden ser horizontales o verticales. En el último caso, el lubricante es generalmente el agua. En las bombas más grandes todavía se usan chumaceras de empuje Kingsbury.

**Cubreflechas:** La cubierta cubre a la flecha contra corrosión, erosión y desgaste que afecta su resistencia, en las pequeñas la cubierta generalmente se elimina.

**Anillos de Sellado:** Se conocen como cajas selladoras y anillos de sello de agua o de sello de líquido y reciben el líquido bajo presión de la bomba o de una fuente independiente. Se usan para evitar la entrada de aire a la bomba cuando opera con una elevación de succión, así como para distribuir el líquido sellador uniformemente en el espacio anular entre el núcleo de la caja y la superficie de la cubierta de la flecha.

**Prensaestopas:** Tiene como objeto el evitar la entrada del aire en la carcasa cuando la presión dentro de ella se encuentra bajo la atmosférica y limita el escape de la carcasa a un mínimo cuando la presión es superior a la atmosférica.

#### Bombas rotatorias.

Las bombas rotatorias que generalmente son unidades de desplazamiento positivo, consisten de una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc. que operan con un claro mínimo. En lugar de "aventar" -



el líquido como una bomba centrífuga, una bomba rotatoria lo atrapa, lo empuja contra la caja fija en forma muy similar a como lo hace un pistón de una bomba reciprocante y descargando un flujo continuo.

Pueden manejar casi cualquier líquido que éste libre de sólidos abrasivos. Incluso puede existir la presencia de sólidos duros en el líquido si una chaqueta de vapor al rededor de la caja de la bomba los puede mantener en condición fluida

#### Tipo de bombas rotatorias.

**Bombas de Leva y Pistón:** Consisten de un excéntrico con un brazo ranurado en la parte superior. La rotación de la flecha hace que el excéntrico atrape el líquido contra la caja.

**Bombas de Engranajes Externos:** Conforme los dientes de los engranes se separan en el lado de la succión de la bomba, el líquido llena el espacio entre ellos. Este se conduce en trayectoria circular hacia afuera y es exprimido al engranar nuevamente los dientes.

**Bombas de Engrane Interno:** Este tipo tiene un rotor con dientes cortados internamente y que encajan en un engrane loco, cortado externamente. Puede usarse una partición en forma de luna creciente para evitar que el líquido pase de nuevo al lado de succión de la bomba.

**Bombas Lobulares:** Estas se asemejan al tipo de bombas de engranes en su forma de acción, tienen dos o más rotores cortados con tres, cuatro, o más lóbulos en cada rotor, el

flujo del tipo lóbular no es tan constante como en las bombas de tipo de engranes.

**Bombas de Tornillo:** Estas bombas tienen de uno a tres - tornillos roscados convenientemente que giran en una caja fija. El rotor es de metal y la hélice es generalmente de hule duro o blando, dependiendo del líquido que se maneje.

**Bombas de Aspas:** Las bombas de aspas oscilantes tienen una serie de aspas articuladas que se balancean conforme gira el rotor, atrapando el líquido y forzándolo en el tubo de descarga de la bomba. Las bombas de aspas deslizantes usan aspas que se presionan contra la carcasa por la fuerza centrífuga cuando gira el rotor. El líquido atrapado entre las dos aspas se conduce y fuerza hacia la descarga de la bomba.

#### Características de las bombas rotatorias.

Si se desprecian los escapes, las bombas rotatorias descargan un gasto constante independiente de las presiones variables de descarga. El desplazamiento de una bomba rotatoria varía directamente con la velocidad en forma proporcional. Los líquidos gruesos y viscosos pueden limitar la capacidad de la bomba en altas velocidades debido a que el líquido no puede fluir a la carcasa con la rapidez necesaria para llenarla completamente.

El deslizamiento o pérdida en capacidad por los claros entre la carcasa y el elemento rotatorio, suponiendo viscosidad constante varía al aumentar la presión de descarga.

La potencia requerida por una bomba rotatoria, curva característica PQ, aumenta con la viscosidad del líquido (gráf. 5). La eficiencia disminuye con aumento en la viscosidad.

La gráfica 5 muestra las curvas características HQ y PQ para una bomba rotatoria del tipo de engrane y perno.

**Tablas Características:** Las tablas características para bombas rotatorias contienen también una columna para viscosidad, mostrando el efecto de una viscosidad aumentada o disminuida sobre el comportamiento de la bomba. La tabla 2 muestra datos típicos de comportamiento para una bomba rotatoria de tres tornillos.

**Materiales de Construcción:** Las bombas rotatorias están clasificadas por el Instituto Hidráulico como: (1) todas de fierro, (2) aditamentos de bronce y (3) todas de bronce.

En una bomba toda de fierro, todas y cada una de las partes de la unidad en contacto directo con el líquido está hecha de metal ferroso. En una bomba con aditamentos de bronce, la carcasa está hecha de metal ferroso y algunas partes sujetas a desgaste, tales como rotores, álabes y otras partes móviles están hechas de bronce. La flecha puede ser de acero o metal no ferroso.

Las bombas todas de bronce tienen todas y cada una de las partes de la unidad que se encuentran en contacto directo con el líquido, hechas del bronce normal de fabricación del fabricante individual, excepto la flecha, que puede ser de acero inoxidable o de un metal no ferroso.

GRAF. NUM. 5 CARACTERISTICAS DE CAPACIDAD Y CABALLAJE DE UNA BOMBA DE ENGRANES INTERNOS

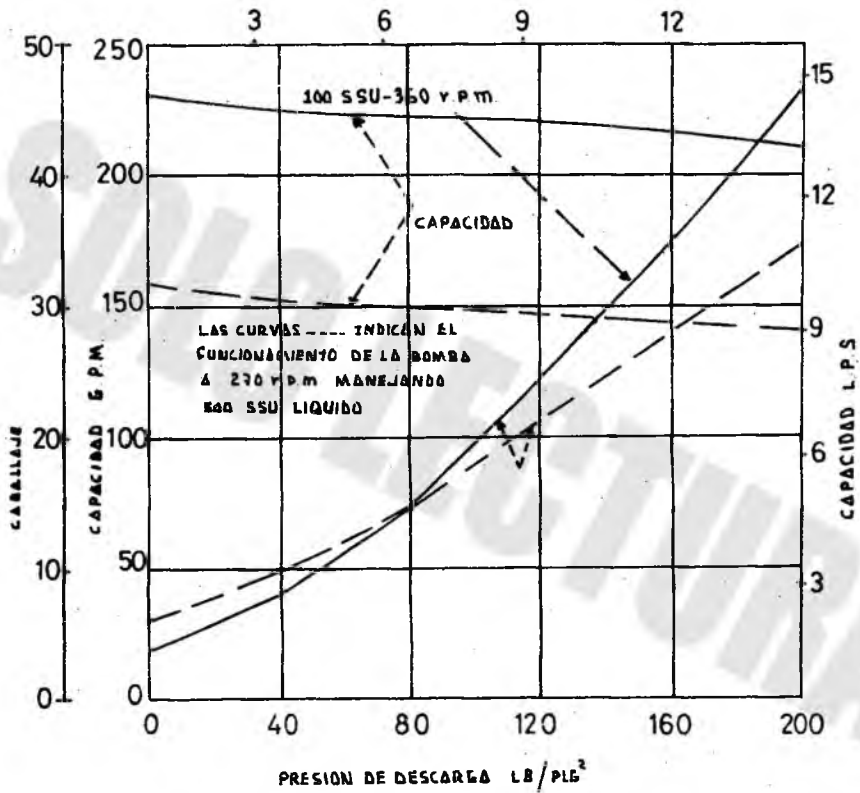


Tabla 2. Características típicas bombas rotatoria  
de tres tornillos.

Capacidad a 150 SSU 7.03 Kg/cm <sup>2</sup> presión de descarga, lps.	Bhp a 3.5 Kg/cm <sup>2</sup>		Bhp a 7.03 Kg/cm <sup>2</sup>			
	500 SSU	5000 SSU	Elevación máx. en mm Hg.	500 SSU	5000 SSU	Elev. máx. mm Hg
0.12	0.2	0.4	432	0.4	0.5	432
0.38	0.5	1.2	432	0.7	1.4	432
0.95	0.9	1.8	432	1.6	2.5	432
1.77	1.6	2.4	432	2.9	3.8	432
2.65	2.2	3.7	432	3.9	5.4	432
4.42	3.7	7.2	203	6.3	9.8	203

+Condensado de datos de De Laval Steam  
Turbine Co.

Aplicaciones de Bombas: La mayor parte de las bombas rotatorias son autosevantes, y pueden, de ser necesario, trabajar con gas o aire. Las aplicaciones incluyen el paso del líquido de todas las viscosidades, procesos químicos, alimentos, descarga de barcos, lubricación a presión, pintura a presión, sistema de enfriamiento, servicio de quemadores de aceite, manejo de grasa, gases licuados (propano, butano, amonio, freón, etc.).

#### Bombas reciprocantes.

Las bombas reciprocantes son unidades de desplazamiento-positivo, descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera. Sin embargo, no todo el líquido llega necesariamente al tubo de descarga debido a escapes o arreglo de pasos de alivio que puedan evitarlo. Despreciando éstos, el volumen del líquido desplazado en una carrera del pistón o émbolo es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.

#### Tipos de bombas reciprocantes.

Existen básicamente dos tipos de bombas reciprocantes, - las de acción directa, movidas por vapor y las bombas de potencia. Pero existen muchas modificaciones de los diseños básicos, construidas para servicios específicos en diferentes campos.

**Bombas de Acción Directa:** En este tipo, una varilla común de pistón conecta un pistón de vapor y uno de líquido o émbolo. Las bombas de acción directa se construyen, simplex (un pistón de vapor y uno de líquido respectivamente) y duplex (dos pistones de vapor y dos de líquido).

Las bombas de acción directa horizontales simplex y duplex, han sido usadas para: alimentación a calderas en presiones bajas a medianas, manejo de lodos, bombeo de aceite y agua. Se caracterizan por la facilidad de ajuste de columna, velocidad y capacidad. Tienen buena eficiencia a lo largo de una buena región de capacidades. Las bombas de émbolo se usan para presiones más altas que los tipos de pistón. Al igual que todas las bombas reciprocantes, las unidades de acción directa tienen un flujo de descarga pulsante.

**Bombas de Potencia:** Estas tienen un cigüeñal movido por una fuente externa -generalmente un motor eléctrico-, banda o cadena. Frecuentemente se usan engranes entre el motor y el cigüeñal para reducir la velocidad de salida del elemento motor.

Cuando se mueve a velocidad constante, las bombas de potencia proporcionan un gasto casi constante para una amplia variación de columna, y tienen buena eficiencia.

Las bombas de potencia se encuentran particularmente bien adaptadas para servicios de alta presión y tienen algunos usos en la alimentación a calderas, bombeo en líneas de tuberías, procesos de petróleos y aplicaciones similares.

**Bombas del Tipo Potencia de Baja Capacidad:** Estas unidades se conocen también como bombas de capacidad variable, volumen controlado y de "proporción".

Su uso principal es para controlar el flujo de pequeñas cantidades de líquido para alimentar calderas, equipos de proceso y unidades similares.

La capacidad de estas bombas puede variarse cambiando la longitud de la carrera. Esta unidad usa un diafragma para bombear el líquido que se maneja, pero el diafragma está accionado por un émbolo que desplaza aceite dentro de la cámara de la bomba. Cambiando la longitud de la carrera del émbolo se varía el desplazamiento del diafragma.

**Bombas del Tipo de Diafragma:** Estas bombas son usadas para gastos elevados de líquidos, ya sea claros o conteniendo sólidos. También son apropiadas para pulpas gruesas, drenajes, lodos, soluciones ácidas o alcalinas, así como mezclas de agua con sólidos que puedan ocasionar erosión. Un diafragma de material flexible no metálico, puede soportar mejor la acción corrosiva o erosiva de las partes metálicas de algunas bombas reciprocantes.

#### Características de las bombas reciprocantes.

En las bombas reciprocantes el flujo pulsa, dependiendo del carácter de la pulsación, del tipo de la bomba y de que ésta tenga o no una cámara de colchón.

**Bombas de Acción Directa Simplex:** Las bombas de vapor --



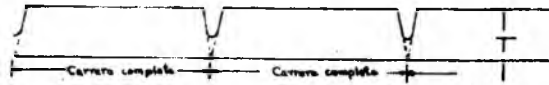


FIG. 2. Curva de descarga para bomba de acción directa duplex

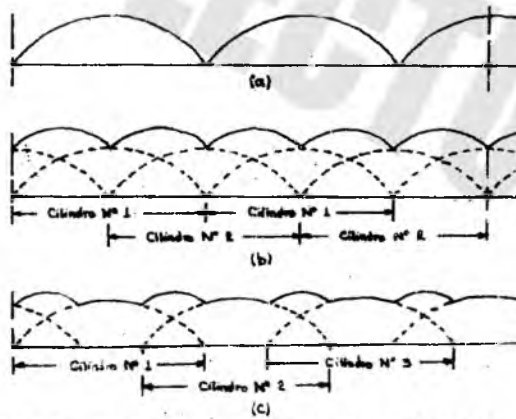


FIG. 3. Curvas de descarga para tres tipos de bombas de potencia (a) simple de doble acción; (b) duplex de doble acción (c) triplex de simple acción.

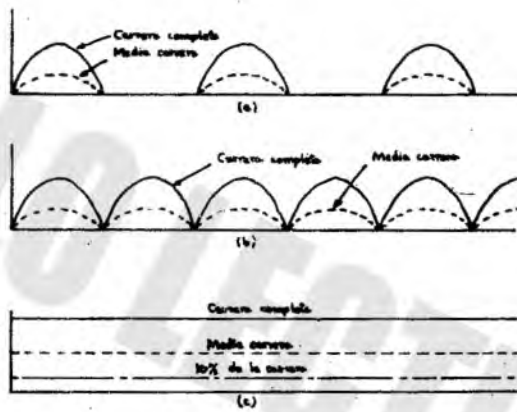


FIG. 4. Curvas de descarga para tres bombas pequeñas de capacidad variable (a) simplez, simple acción; (b) duplex, simple acción y (c) gasto constante

que operan a velocidad normal tienen una curva de descarga como la que se muestra en la fig. 2. El flujo es constante hasta el final de la carrera, en donde el pistón del líquido se detiene y regresa. Sin una cámara de colchón, el flujo teóricamente cesa cuando el pistón se detiene.

**Bombas de Potencia:** Las curvas de descarga para las bombas de potencia toman la forma de ondas senoidales (Fig. 3) - debido a que los pistones o émbolos están movidos por manivela. El flujo de descarga no cambia en forma tan pronunciada como en las bombas de acción directa.

**Bombas de Baja Capacidad del Tipo de Potencia:** La mayor parte de estas unidades son bombas de capacidad variable, altera notablemente la apariencia de la curva. La fig. 4 muestra una serie de curvas de descarga para unidades de capacidad variable típicas.

Cuando se desea un gasto constante sin pulsaciones, puede obtenerse una curva de descarga como la mostrada en la figura 4c usando una bomba de diseño especial para este servicio.

**Capacidad y Velocidad:** Las bombas reciprocantes no succionan el líquido. Reducen solamente la presión en la cámara de succión y la presión externa, generalmente la atmosférica, empuja el líquido en la bomba.

Conforme aumenta la velocidad en una bomba reciprocante, aumenta su capacidad, siempre y cuando no haya que interfiera con el gasto hacia adentro o hacia afuera de la bomba.

Viscosidad del Líquido y Temperatura del Agua: Ambas variables afectan la velocidad y capacidad máxima de la bomba.- Así, conforme la viscosidad del líquido aumenta de 250 a 5000 SSU (tabla 3) la velocidad de la bomba disminuye de lo normal . Conforme la temperatura aumenta de 21 a 121°C, se tiene una disminución de velocidad.

Tabla. 3. Factores de corrección de velocidad.

Visc. del líquido SSU.	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
Reducción de vel. %...	0	4	11	20	26	30	35
Temp. del agua, °C.....	21	27	38	52	66	93	121
Reducción de vel. %....	0	9	18	25	29	34	38

La tabla 3 condensa los factores de corrección de velocidad para viscosidad y temperatura, recomendados por el Instituto de Hidráulica.

Extremos de Líquido y Vapor: Los extremos de líquido de las bombas reciprocantes se construyen en un gran número de diseños para los diferentes líquidos, condiciones de servicio y presiones.

Las bombas de vapor de acción directa tienen un juego de válvulas en su extremo líquido con placas removibles de válvulas de descarga.

Empaques de Pistón y Varilla: Cualquier material que se use para controlar el escape de líquido entre una parte móvil y otra estacionaria en una bomba se llama en términos ge-

nerales, empaque. Siendo flexible y generalmente de material suave, es fácil de substituir.

**Válvulas de Extremo Líquido:** Como regla general, en las bombas de baja presión se usan válvulas de disco con protuberancias usadas como guías. Para presiones moderadas, estas son del tipo de ala (con caras planas biseladas) y para altas presiones, se usan válvulas con guías de ala y caras biseladas. Sin embargo, influye mucho el líquido que se maneja como diseño de la bomba, etc.

**Clasificaciones de Bombas de Vapor:** Desde el punto de vista del tipo, el Instituto de Hidráulica, clasifica las bombas de vapor como simples, duplex, horizontales, verticales, simples (extremo de vapor) y bombas comerciales, simples o duplex.

**Clasificación de Bombas de Potencia:** El Instituto de Hidráulica clasifica las bombas de potencia como simples, duplex, triplex, multiplex, horizontales y verticales.

#### Selección de bombas.

**Métodos de selección:** Las bombas se eligen por tres métodos: (1) el cliente suministra detalles completos a uno o más fabricantes, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para la aplicación; (2) el comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo prosediendo luego a elegir la unidad más adecuada de catálogo y gráficas de características, o (3) se usa una combinación de estos dos métodos para lle-

gar a la selección final.

**Selección del Fabricante:** Este método se usa para bombas grandes en aplicaciones con condiciones poco usuales y en casos en que el ingeniero no tenga tiempo o no se desee efectuar él mismo la elección de la bomba.

**Datos para el fabricante.** La tabla 4 agrupa los datos esenciales requeridos por cualquier fabricante de bombas antes de que pueda preparar una recomendación y una oferta.

**Propuesta:** La mayor parte de los fabricantes convinan su recomendación y proposición en un solo documento llamado propuesta. La propuesta usual contiene la siguiente información: núm. de modelo de la bomba, clase, tipo, construcción, detalles y materiales, tipo de motor para el que se ha diseñado la bomba, curvas de operación con tabulaciones, precio unitario, precio, tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden, y disposiciones o acuerdos legales con respecto a planos, garantías, instalación de la unidad, fecha de embarque, condiciones de pago, impuestos, seguros, transportes, etc. Incluido en la propuesta típica viene una ilustración de la bomba y un catálogo.

**Cálculos en la elección de la bomba.** Básicamente hay 5-pasos en la elección de una bomba-sea grande o pequeña, centrífuga, reciprocante o rotatoria-. Estos pasos son: (1) undiagrama de la disposición de la bomba y tuberías, (2) determinar la capacidad, (3) calcular la columna total, (4) estudiar las condiciones del fluido, (5) elegir la clase y el tir

Tabla 4. Compendio de Datos Esenciales que se Requieren en la Selección de Bombas Centrífugas.<sup>†</sup>

1. Número de unidades requeridas.
2. Naturaleza del líquido que habra de bombearse.
  - a. ¿Agua fresca o salada, ácida o alcalina, aceite, gasolina, lodo o pulpa de papel?
  - b. Frio o caliente; y si es caliente ¿a qué temperatura? ¿Cuál es la presión del líquido a la temperatura de bombeo?
  - c. ¿Cuál es su densidad?
  - d. ¿Es viscoso o no?
  - e. ¿Limpio y libre de materias extrañas o sucio y abrasivo? En este último caso, ¿Cuál es el tamaño y naturaleza de los sólidos y son éstos abrasivos? Si el líquido es de naturaleza pulposa ¿cuál es la consistencia, expresada ya sea en porcentaje o en  $\text{Kg/m}^3$  de líquido? ¿Cuál es el material en suspensión?
  - f. ¿Cuál es el análisis químico,  $\text{p}^{\text{h}}$ , etc? ¿Cuáles son las variaciones permisibles en este análisis? En ca

so de ser corrosivo ¿cuál ha sido - cont. tabla 4  
 la experiencia pasada, tanto con ma  
 teriales satisfactorios como no sa-  
 tisfactorios?

3. Capacidad.

¿Cuál es la capacidad requerida así co  
 mo la cantidad máxima y mínima de lí-  
 quido que habrá de desarrollar la bom-  
 ba?

4. Condiciones de succión. Existe:

- a. ¿Una elevación de succión?
- b. ¿O una columna de succión?
- c. ¿Cuál es la longitud y el diámetro-  
del tubo de succión?

5. Condiciones de descarga.

- a. ¿Cuál es la columna estática? ¿Es --  
constante o variable?
- b. ¿Cuál es la columna de fricción?
- c. ¿Cuál es la presión de descarga má-  
xima contra la que habrá de traba--  
jar la bomba?

6. Columna total. Variaciones en los pun-  
tos 4 y 5 causará variaciones en esta.

7. ¿Es el servicio continuo o intermitente

8. ¿Se habrá de instalar la bomba en posi-  
ción horizontal o vertical? En este úl-



timo caso. cont. tabla 4

- a. ¿En pozo húmedo?
  - b. ¿En pozo seco?
9. ¿Que tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuáles son las características de ésta?
11. Localización de instalación.
- a. Localización geográfica.
  - b. Elevación sobre el nivel del mar.
  - c. Instalación interior o a la intemperie.
  - d. Variación de las temperaturas ambientales.
12. ¿Existen algunos requisitos o preferencias marcadas con respecto a diseño, construcción o características de las bombas?

\*Cortesía de Worthington Corp.

po. Estos cinco pasos se conocen como: TAMAÑO, CLASE Y MEJOR COMPRA.

**Diagrama Esquemático:** El diagrama debe basarse sobre la aplicación real. Generalmente son satisfactorios los diagramas simples de una sola línea. Hay que mostrar todas las tuberías, accesorios, válvulas, equipo y otras unidades del sistema. Márquese los tramos de tubería en el diagrama. Hay -- que asegurarse que se incluyan todas las elevaciones verticales.

**Capacidad:** Las condiciones de la aplicación fijan la capacidad requerida. Por ejemplo, el máximo flujo de vapor que sale de una turbina, así como las condiciones del vapor, de -- terminan la mínima cantidad de agua de enfriamiento necesaria a una temperatura dada. Los cambios de estación, factor de -- seguridad deseado, etc, influyen en la capacidad elegida.

**Cálculo de la columna total:** Usense los datos dados al final de este capítulo para el cálculo de la columna total de la bomba. Como una comprobación, es conveniente someter un -- diagrama completo del sistema al fabricante cuando se pide -- una propuesta.

**Estudio de las Condiciones del líquido:** La densidad del líquido, temperatura, presión del vapor, viscosidad, características químicas, etc,, deben considerarse muy cuidadosamente.

**Elección de Clase y Tipo:** El estudio del diagrama indica que tamaño (capacidad y columna) de bomba se necesita, --

Por ejemplo, cuando se quiere un servicio de columna muy elevada y pequeña capacidad, la tabla 1 muestra que probablemente una bomba reciprocante sea adecuada.

**Demanda de Potencia:** La potencia requerida para mover cualquier clase o tipo de bomba puede calcularse por:

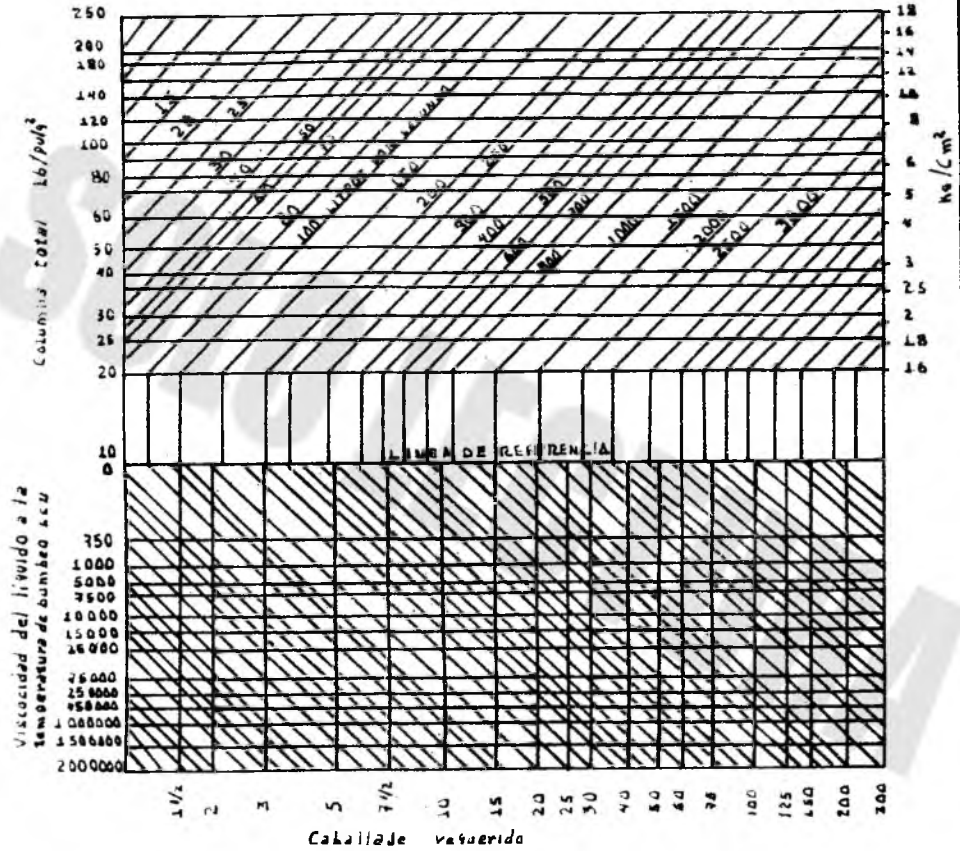
$$P = fhs/7620e$$

donde: P=demanda de potencia, hp; f=gasto, en lps; h=columna total de la bomba, metros de líquido; s=densidad del líquido; e=eficiencia de la bomba, expresado en decimales.

Esta ecuación es adecuada para todos los líquidos con una viscosidad igual a la del agua. Para viscosidades distintas úsese la grafica 6 o los factores de corrección necesarios.

**Cambio de Características:** Existen tres reglas para relacionar el comportamiento de la bomba con el cambio de velocidad y tres para el cambio del diámetro. Con un impulsor de diámetro constante, (1) la capacidad de la bomba varía directamente con la velocidad, (2) la columna varía con el cuadrado de la velocidad, (3) la potencia requerida varía con el cubo de la velocidad. A velocidad constante, (1) la capacidad varía directamente con el diámetro del impulsor, (2) la columna varía con el cuadrado del diámetro del impulsor, (3) la potencia varía con el cubo del diámetro del impulsor. Estas reglas son para todo tipo de bombas centrífugas aproximadamen

GRAF NUM 6 GRAFICA DE CABALLAJE PARA BOMBAS



te.

**Coples Flexibles:** Para elegir un cople flexible tiene - que conocerse, la potencia que debe transmitir así como su ve l o c i d a d e r o t a c i o n e l f a c t o r e s e r v i c i o a p l i c a b l e . l a p o t e n c i a d e r o t a c i o n e l f a c t o r e s e r v i c i o a p l i c a b l e .

$$C = 100(PF)/S$$

donde: C=capacidad del cople, en hp por 100 rpm; P=entrada de potencia a la bomba en caballos; F=factor de servicio del cople; S=velocidad del cople, rpm.

**Velocidad Específica:** Es una práctica común recomendable el comprobar la velocidad específica de una bomba propuesta para asegurarse que se encuentra dentro de los límites normales para el tipo de bomba elegida.

La velocidad específica  $N_3 = 1/60(\text{lps}) (\text{rpm})/h^{0.75}$ , donde h=columna por paso, en metros de líquido.

**Columna de Succión Positiva Neta:** La curva del Instituto de Hidráulica para cspn en bomba de condensado puede usarse más allá de su región gráfica siempre y cuando para una cspn definida del producto  $(\text{rpm})(\sqrt{\text{lps}})$  sea constante.

**Perdidas de Fricción:** Para interpolar en las tablas de fricción de tubería se requiere el uso de una relación cuadrática simple.

**Empaques contra sellos mecánicos:** Los sellos tienen --- prácticamente sero escape y pueden usarse para bombas centrífugas y rotatorias.

**Enfriamiento de los Sellos Mecánicos:** Hay numerosas ra-

zonas para enfriar algunos sellos mecánicos: (1) evitar temperaturas altas que puedan destruir la película del líquido entre las caras del sellador, (2) eliminar la vaporización del líquido en las caras del sellado, (3) proteger el sello, (4) reducir el peligro de incendio cuando se está trabajando con líquidos inflamables, y (5) evitar corrosión por líquidos a alta temperatura.

**Deflección de la Flecha:** Antes de elegir una bomba ventrífuga es conveniente comprobar la deflección que se espera y la velocidad crítica inicial aproximada. La gráfica 7 es típica y es suministrada por el fabricante de la bomba para permitir el cálculo de deflección y velocidad.

**NOTA:** La tabla 5 muestra las recomendaciones de un fabricante para selección de álabes en bombas rotatorias. Las capacidades típicas de las bombas de émbolo de acción directa horizontales duplex están dadas en la tabla 6. Aun cuando estos datos sobre columna y capacidad de las bombas son específicas, dan una idea sobre algunas de las regiones de que se puede disponer.

Para mayor información sobre las muchas otras bombas véanse las normas del Instituto de Hidráulica, para más recomendaciones sobre normalización de bombas.

**Índices de Diseño:** Hay numerosos índices útiles para especificar y comprar bombas de todos tipos.

**Líquidos Volátiles:** Puede evitarse la ignición en la li

Tabla 5. Selección Típica de Paletas para Bombas rotatorias de Paletas Oscilantes.+

Servicio No.	Servicio	Tipo de Paleta	Mat. de Pal.	Notas de ref.
1	Líquidos volátiles	Deslizante	Metal	a y d
2	Líqu. no volátiles y no viscosos	Oscilante	metal	a y d
3	Líqu. viscosos	Desl. con pernos de empuje	metal	a y d
4	Líqu. que cont. sólidos	Oscilante	metal	a
5	Pipa (camión tanque)	Deslizante	comp. 1	c
6	Limpiado en seco	Deslizante	comp. 2	c

+Cortesía de Blackmer Pump Co.

- a. El metal usado habrá de ser hierro o bronce según la práctica establecida para el tipo de líquido - bombeado.
- b. Este grupo de líq. será de 15 000 SSU o más cuando la bomba opera a su vel. completa; o 7 000 SSU o más cuando la bomba opera a vel. reducida.

- c. Las paletas de composición son satisfactorias para este servicio. Cuando hay cambios muy amplios en las carac. de los liq. bombeados, puede requerirse un cambio en los materiales de composición.
- d. Ocasionalmente se desea usar una bomba alternadamente para los servicios No. 1 y No. 2, en este caso se recomiendan, paletas deslizantes hasta -- 5 000 SSU. Arriba de 5 000 SSU las paletas oscilantes requieren pernos de empuje, de otra manera serían necesarias paletas oscilantes.

continuación de la tabla 5.

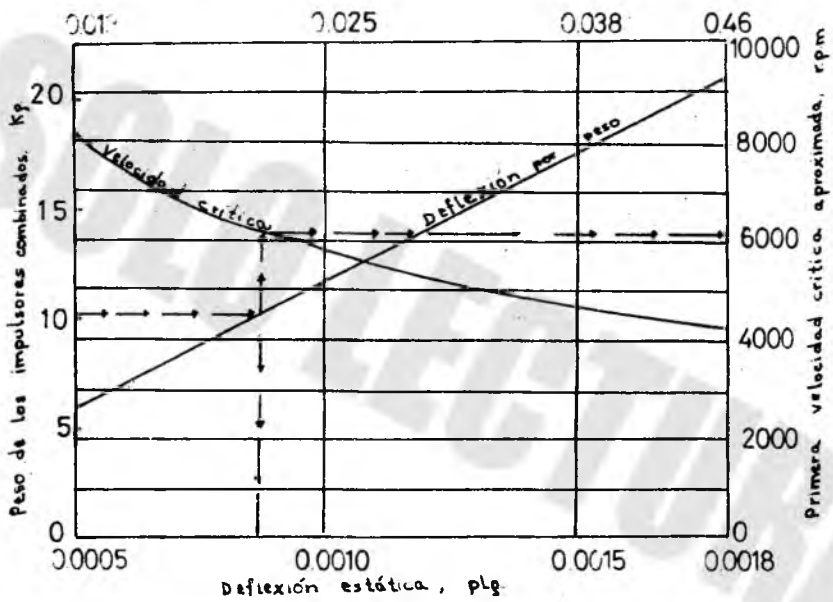


Tabla 6. Capacidad de una bomba de émbolo, Horizontal Duplex Típica.

Tamaño, cm.	Servicio de agua fría a - presión.		Servicio de alim. a cal.		
	Lps	Vel. de pistón m/min	Lps	Cal. hp	Vel. de pistón m/min
15.24x 8.89x15.24	3.78	18.30	2.27	475	10.98
19.05x11.43x25.40	7.82	22.87	4.67	975	13.72
22.86x12.70x25.40	9.65	22.87	5.80	1210	13.72
25.40x15.24x30.48	14.83	24.40	8.89	1860	14.64
30.48x17.78x30.48	20.19	24.40	12.11	2530	16.64
30.48x19.05x38.10	26.06	27.45	15.65	3270	16.47
35.56x21.59x38.10	33.44	27.45	20.06	4190	16.47
43.18x25.40x38.10	46.56	27.45	27.95	5830	16.47
50.80x30.48x38.10	66.88	27.45	40.13	8390	16.47

+Cortesía de Worthington Corporation.

GRAF. NUM 7 DE FLEXION DE LA FLECHA Y VELOCIDAD CRITICA.



nea de succión de la bomba introduciendo un líquido frío de una fuente auxiliar. El control del flujo del líquido puede ser manual o automático. Recirculese una parte del líquido - manejado de la descarga de la succión para evitar sobrecalentamiento de la bomba durante periodos de operación en baja capacidad. Cuando el collarín de empaque tiene fugas permitidas para la lubricación de la flecha, compruébese que la cantidad de líquido que se pierde no sea excesivo.

Las unidades de reserva: deben elegirse cuidadosamente - si deben manejar más de un líquido, elijanse, columna y capacidad para los requisitos más severos. Compruébense los materiales de construcción.

La cspn disponible: Debe ser la máxima que se pueda suministrar fácilmente sin aumentar demasiado el costo del sistema.

Bombas existentes: Para calcular el efecto de la nueva condición sobre la bomba, úsense las reglas dadas antes de este capítulo.

Líquidos viscosos: Se manejan más fácilmente en tubos - calentados, así como bombas, coladeras y otro equipo. Pueden usarse para este objeto vapor, agua caliente o electricidad.

Perdidas de fricción: En seguida se muestran unos típicos; líneas de descarga, 0.35 a 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> por 100 m para gastos de 0 a 10 lps; 0.24 a 0.29 Kg/cm<sup>2</sup> por 100 m para 10 a 32 lps; 0.12 a 0.46 por 100 m para gastos arriba de 32 lps. Para líneas de succión; 0.12 a 0.23 Kg/cm<sup>2</sup> por 100 m, su tamaño

dependera de la espn disponible.

El eje central de la bomba: Se encuentra generalmente a 0.45 a 0.90 m arriba del nivel del piso, dependiendo de la altura de la cimentación y del tamaño de la bomba.

Boleros: Estos se usan para flechas de bombas y deben tener una vida mínima de servicio de por lo menos 10000 hrs.

Conexiones auxiliares: Para bombas centrifugas deberan ser de 9.0 mm o mayores, excepto purgas y drenajes que pueden ser de 13 mm .

La placa base: Debe tener un anillo de drenaje, sumideros para drenaje, agujeros para pernos de anclaje y agujeros de sedimento.

Los collarines: Para bombas que manejan líquidos inflamables deberán ser de material a prueba de chispas o revestidos interiormente con este tipo de material.

Los sistemas de empapado de aceite: Para sellos mecánicos deberán tener una coladera, manómetro y termómetro.

Placa de características y flecha de rotación: Deben su ministrarse con la bomba. La placa debe contener el nombre del fabricante de la bomba, número de serie de la bomba, tamaño y tipo, columna de diseño, capacidad, velocidad y temperatura, y presión de prueba hidroestática.

Tubería de la bomba: Esta es más segura cuando se diseña de acuerdo con las reglas ASA para tuberías de presión, -- ASA B31.1 .

## Calculos

Datos:

Densidad del cloruro de bencilo = 1.1026 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad del cloruro de benzal = 1.2557 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad del benzotricloruro = 1.38 gr/cm<sup>3</sup>

Producción en toneladas por año:

Cloruro de bencilo = 3 000

Cloruro de benzal = 410.072

Benzotricloruro = 100.72 , por lo tanto la pro -

ducción total será: 3 510.79 ton/año (peso de la mezcla).

Los porcentajes de producción de estos, producto y sub -  
productos son los siguientes:

Cloruro de bencilo = 85.45%

Cloruro de benzal = 11.68%

Benzotricloruro = 2.87%

De los anteriores porcentajes, se desprende que el cloru  
ro de bencilo es mucho mayor en comparación con los otros dos  
subproductos. Por lo tanto, se puede suponer que la densidad  
de la mezcla es igual a la densidad del cloruro de bencilo --  
que es el producto principal.

Por lo tanto:

Densidad de la mezcla = 1.1026 gr/cm<sup>3</sup>

Calculo del volumen de la mezcla en galones/min y en lts/seg.

$$V = \frac{W}{d} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

donde: V = volumen total de la mezcla

$W$  = peso total de la mezcla

$d$  = densidad de la mezcla

sustituyendo datos en la ec. 1 .

$$V_{\text{mezcla}} = \frac{3\,510.79 \text{ ton/año}}{1.1026 \text{ ton/m}^3} = 3\,183.23 \text{ m}^3/\text{año}$$

Ahora bien, si el tiempo que se va a trabajar va a ser -  
de:

330 días al año y 24 horas por día entonces se tendrá:

$$V_{\text{mezcla}} = 0.1116 \text{ lts/seg.}$$

$$V_{\text{mezcla}} = 0.034 \text{ Gal/seg.}$$

$$V_{\text{mezcla}} = 2.04 \text{ Gal/min.}$$

Este volumen es el que se va a alimentar al tanque que --  
esta a continuación del reactor. En este caso, el tanque ten  
drá una altura de 5.61 pies = 1.71 m .

El tanque tendrá un volumen de  $0.864 \text{ m}^3$ , ya que con este-  
volumen se podrá dar mantenimiento al reactor por espacio de-  
dos horas sin interrumpir la producción.

La distancia o longitud de tubería desde la bomba hasta-  
el tanque será de: 3.96 pies = 1.207 m .

La altura de succión será = 6.08 pies =  $h_{ss}$  , ya que se-  
esta tomando en cuenta que el tanque esta a 3.28 pies sobre -  
el eje de la bomba y la succión esta a 2.8 pies de altura del  
tanque.

En el lado de la descarga, se tiene una longitud total -  
de tubería de 9.09 pies que en nuestro caso sera la  $h_{sd}$  .

Otros datos necesarios para el calculo de la columna total serán los siguientes:

$$P_1 = \text{presión del tanque (lb/pulg}^2) = 11.3 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_2 = \text{presión en D1 (lb/pulg}^2) = 10.44 \text{ lb/pulg}^2$$

$$v = \text{velocidad del fluido (pies/seg)} = 0.4 \text{ pies/seg.}$$

$$f = \text{factor de fricción} = 0.027$$

$$D = \text{diametro de la tubería (pies)} = 0.10416 \text{ pies.}$$

$$L_{eq} = \text{longitud equivalente (pies) .}$$

Para codos de  $90^\circ$  la  $L_{eq}$  es de  $32D_{tub.}$  y para válvulas - de compuerta de  $7D_{tub.}$

$$\mu = \text{viscosidad del líquido (lb/pie.seg.)} = 1.11 \text{ lb/pie. seg}$$

$$4f = f' = \text{factor de Darcy}$$

Entonces:

$$h_f \text{ succión total} = h_f \text{ accesorios} + h_f \text{ tubería ... ec. 2}$$

$$h_f \text{ acc.} = h_f \text{ valv.} + h_f \text{ codos} + h_f \text{ ind. de flujo ..ec.3}$$

En la ecuación 3 se eliminan los terminos respecto a indicadores de flujo y de las válvulas debido a que en esa parte no son muy considerables esos terminos.

$$h_f \text{ codos} = \frac{4fv^2 \cdot L_{eq}}{2 g_c} \dots\dots\dots \text{ec. 4}$$

$$g_c = \text{constante de gravedad} = 32.2$$

Sustituyendo datos en la ec. 4, se tiene:

$$h_f \text{ codos} = 0.0009 \text{ pies.}$$

$$h_f \text{ tubería} = \frac{4fLv^2}{2Dg_c} \dots\dots\dots \text{ec. 5}$$

Sustituyendo datos en la ec. 5 se tiene:

$h_f$  tubería = 0.0156625 pies., substituyendo el resultado anterior y el de 0.0009 pies en la ec. 2 se obtiene:

$h_f$  succión total = 0.0166 pies que por consiguiente, al substituir datos en la ec. 6 se tendrá:

$$H_s = h_{ss} + h_f \text{ por pérdidas en el tanque} + h_{fs} \dots \text{ec. 6}$$

$H_s = 6.0966$  pies. En la ec. 6 se elimina a las pérdidas de fricción debidas al tanque de la succión.

Calculo de las pérdidas por fricción en el lado de la descarga.

De la ec. 4 se obtiene:

$h_f$  codos = 0.0018 pies ya que en el lado de la descarga se cuenta con dos codos.

También de la ec. 4 para la válvula de compuerta se obtiene que:

$h_f$  válv. de compuerta = 0.0002 pies que nos dan unas pérdidas totales por accesorios de 0.0011 pies.

Al substituir datos de la descarga en la ec. 5 se tendrá:

$h_f$  tubería = 0.0234 pies, entonces, de la ec. 2 para la descarga nos dará unas pérdidas por fricción totales de:

$$h_f \text{ descarga total} = 0.0254 \text{ pies.}$$

Calculo de la cabeza total en la descarga.



$$H_d = h_{fd} + h_f \text{ por pérdidas en el tanque} + h_{sh} \text{ ..ec. 7}$$

Calculo de  $h_f$  por pérdidas en el tanque.

$$\frac{540 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mm Hg}} \times \frac{14.7 \text{ lb/pulg}^2}{1 \text{ atm.}} \times \frac{2.31}{1.11} = 21.74 \text{ pies.}$$

Por lo tanto, al sustituir datos en la ec. 7 se tiene:

$$H_d = 30.8554 \text{ pies, entonces la cabeza total del siste--}$$

ma será de:

$$H_t = H_d - H_s \text{ ..... ec. 8}$$

$$H_t = 24.7588 \text{ pies.}$$

Calculo de la cabeza de succión positiva neta disponi--  
ble ( $cspn_d$ ).

$$cspn_d = \frac{1}{2} h_{ss} + (P_s - P_v) \frac{2.31}{Gr.Ep.} - h_{fs} \text{ .... ec. 9}$$

$P_s$  = presión atmosférica en el Edo. Méx. = 11.3 lb/pulg<sup>2</sup>

$P_v$  = presión de vapor del cloruro de bencilo a 95°C

$$= 50 \text{ mm Hg} = 0.9671 \text{ lb/pulg}^2 .$$

Sustituyendo datos en la ec. 9, se tiene:

$$cspn_d = 27.57 \text{ pies por lo que:}$$

$$cspn_r = cspn_d - 2 = 25.57 \text{ pies donde } cspn_r \text{ es la cabe--}$$

za de succión positiva neta requerida, si:

WHP = potencia hidráulica del motor (H.P.) .

$$Q = \text{gasto (gal/min.)} = 2.04$$

BHP = potencia al freno de la bomba (H.P.)

$$\eta_b = \text{eficiencia de la bomba} = 0.65$$

HP = potencia eléctrica del motor (H.P.)

$$\eta_m = \text{eficiencia del motor} = 0.80$$

Conociendo los anteriores terminos, se procede a reali--  
zar sus calculos.

Por lo tanto, al sustituir datos en la ec. 7 se tiene:

$$H_d = 30.8554 \text{ ft.}, \text{ entonces la cabeza total del sistema}$$

será de:

$$H_t = H_d - H_s \dots\dots\dots \text{ec. 8}$$

$$H_t = 24.7588 \text{ ft.}$$

Calculo de la cabeza de succión positiva neta disponible ( $cspn_d$ ).

$$cspn_d = \frac{1}{2} h_{ss} + (P_s - P_v) \frac{2.31}{Gr - Ep} - h_{fs} \dots \text{ec. 9}$$

$P_s$  = presión atmosférica en el edo. méx. = 11.3 lb/pulg<sup>2</sup>

$P_v$  = presión de vapor del cloruro de bencilo a 95°C

$$= 50 \text{ mm Hg} = 0.9671 \text{ lb/pulg}^2$$

Sustituyendo datos en la ec. 9, se tiene:

$$cspn_d = 27.57 \text{ ft. por lo tanto si } cspn_r \text{ es igual a:}$$

$cspn_r = cspn_d - 2 = 25.57 \text{ ft.}$  donde  $cspn_r$  es la cabeza de succión positiva neta requerida.

Si:

WHP = potencia hidráulica del motor (H.P.)

$$Q = \text{gasto (gal/min.)} = 2.04$$

BHP = potencia al freno de la bomba (H.P.)

$$\eta_b = \text{eficiencia de la bomba} = 0.65$$

HP = potencia eléctrica del motor (H.P.)

$$\eta_m = \text{eficiencia del motor} = 0.80$$

Conociendo los siguientes terminos, procedemos a realizar sus calculos;

$$WHP = \frac{Ht \cdot Q \cdot Gr^{2.0}}{3960} \dots\dots\dots ec. 10$$

$$BHP = \frac{WHP}{\eta_b} \dots\dots\dots ec. 11$$

$$HP = \frac{BHP}{\eta_m} \dots\dots\dots ec. 12$$

sustituyendo datos en las anteriores ecuaciones se tiene que los resultados son los siguientes:

$$WHP = 0.01416 \text{ H.P.}$$

$$BHP = 0.02178 \text{ H.P.}$$

$$HP = 0.02723 \text{ H.P.}$$

Calculo del tamaño de la bomba:

$$D = \sqrt{\frac{0.408 \cdot Q}{v}} \dots\dots\dots ec. 13$$

Al sustituir datos en la anterior ec. se obtiene el dato siguiente:

$$D = 2.08 \text{ pulg.}$$

Este diámetro corresponde al mínimo comercial de 2.0pulg ya que como nosotros decaamos un gasto pequeño y que a este - se le incremento lo doble, es por esto que en nuestro calculo- si podemos tomar como comercial el mínimo más cercano y no el máximo proximo calculado.

## CONCLUSIONES

Al término de esta tesis se puede concluir que en el País existen suficientes materias primas como son tolueno y cloro para producir cloruro de bencilo. Por otra parte, no habiendo problema alguno para distribuir el cloruro de bencilo en el mercado nacional para su consumo en la industria química y en un momento dado poder competir con todo exportador en cualquier país.

La producción en las industrias existentes en el país de cloruro de bencilo es insuficiente para abastecer el mercado nacional y por lo tanto tenemos que recurrir a grandes volúmenes de cloruro de bencilo de importaciones. Con la creación de una nueva planta para producir cloruro de bencilo se satisficaría toda la demanda del país y por consiguiente un gran ahorro de divisas.

Con lo que respecta a la producción de 3 000 ton/año a sido estimada ésta hasta 1989 tomando como base la demanda futura y ampliación de la planta en caso de que sea necesario.

Con respecto al equipo, se realizaron balances de energía para visualizar las entradas y salidas de calor en el proceso, así como consumos necesarios de vapor y

agua de enfriamiento ya que en un momento dado nos repercutirán en el aspecto económico. Además si tenemos cuidado en el manejo del equipo y dándole mantenimiento preventivo adecuado, no se tendrá problemas con dicho equipo.

Al tomar en cuenta el parámetro de temperatura en la reacción esta se debe controlar entre 95 y 110°C, ya que a temperaturas mayores bajaría el rendimiento en cloruro de bencilo y aumentaría la de los subproductos, además se debe tener cuidado ya que esta reacción es muy extotermica.

Se observo en los calculos respecto a la bomba que la potencia necesaria del motor es muy pequeña debido a que el gasto volumetrico también es pequeño. Debido a lo anterior se considero que la potencia del motor sería la mínima comercial que es de 1/4 H.P. .

Esto fué debido a que la cabeza total de descarga fué mínima porque en esta parte del diseño se despreciarón pérdidas por fricción de accesorios como medidor de flujo, termopares, etc.

Se ha previsto que en un futuro, si la demanda de clo

ruro de bencilo aumenta se podrian realizar cambios en la forma de operaci3n de la bomba de acuerdo a las t3cnicas o metodos mencionados en este capitulo VII, donde se toma en cuenta los parametros de: velocidad especifica(N), gasto volumetrico(Q) y diametro(D).

El sitio en donde se va a instalar la planta es el de Tultitlan Estado de M3xico por el hecho de que en este se satisfacen los requisitos que se estudiar3n en el capitulo correspondiente a la localizaci3n de la planta, es decir, que la materia prima se encuentra cerca de dicho lugar y que por consiguiente se ahorraria mucho dinero en el transporte de esta hacia la planta y por otro lado, el mercado de consumo tambi3n se encuentra cerca. Todo lo anterior, nos beneficiar3 en el aspecto de que el producto y subproductos se podran a precios m3s bajos.

En este lugar existe un parque industrial, por lo que se llega a la conclusi3n de que hay las facilidades suficientes y necesarias para nuestro proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- Asociación Nacional de Ingenieros Químicos.  
(A.N.I.Q.) Edición 1979.
- Instituto Mexicano del Comercio Exterior.
- Petróleos Mexicanos.
- Enciclopedia de Tecnología Química.  
Raymond E. Kirk  
Donald F. Othmer  
Primera Edición en Español  
Editorial UTEHA. 1962 .
- Manual del Ingeniero Químico.  
Jhon H. Perry  
Editorial McGraw-Hill Book Company, Inc., U.S.A.  
1976 .
- Procesos de Transferencia de Calor.  
Donald Q. Kern  
Editorial C.E.C.S.A. 1979 .