

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**ESTUDIO PRELIMINAR TECNICO-ECONOMICO PARA
LA PRODUCCION DE ACIDO BENZOICO A PARTIR
DE LA OXIDACION DEL TOLUENO**

**TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM**



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

ROBERTO SALAZAR FLORES

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

- CAPITULO I -

I. INTRODUCCION.

A. Importancia del ácido benzoico en México:

La importancia del ácido benzoico se basa en sus tres usos principales:

1. Como materia prima en la producción de plásticos de dibenzoato de glicol, los cuales son empleados en la estabilización de resinas vinílicas.

2. Para la obtención del benzoato de sodio, el cual es usado como preservativo de:

2.1.- Comida

2.2.- Alimentos enlatados

2.3.- Preparaciones farmacéuticas

3. Como materia prima en la obtención del peróxido de benzoylo, el cual se usa como catalizador-iniciador de la polimerización del cloruro de vinilo, estireno, en acetato de vinilo y acrílicos.

Como se puede observar, estos usos proyectan un incremento notable en la actualidad, lo cual proporciona bastante importancia al anteproyecto expuesto.

B. Objetivos de la Tesis.

Debido a los innumerables usos del ácido benzoico y al incremento del potencial de algunos de ellos, el mercado actual tendrá un crecimiento notable. Por tal motivo, se realiza un estudio preliminar técnico-económico, esto es con la idea de determinar la factibilidad de su producción en México.

En el caso de determinar la realización del proyecto, será necesario profundizar en la ingeniería de detalle del mismo.

- CAPITULO II -

II. DESCRIPCION Y DATOS TECNICOS DEL ACIDO BENZOICO.

A. Breve historia del ácido benzoico:

El ácido benzoico (ácido benceno carboxílico), ---
 C_6H_5COOH , peso molecular 122.05, cristaliza en hojuelas
o agujas mono clínicas blancas lustrosas. Se obtuvo pri-
mero del benjuí, exudación resinosa provocada por inci-
siones en la corteza del *Styrax benzoin*, árbol de la fa-
milia de las lauráceas.

Blaise de Vignere, médico francés y yatroquímico,-
aunque no fué el primero en mencionar el ácido, si fué en
describirlo en lenguaje moderno (1618). Mohley y Liebig
(1832), y Mitscherlich (1834), determinaron su estructu-
ra. El ácido se convirtió en un importante artículo de
comercio en la segunda mitad del siglo XIX.

El ácido benzoico probablemente se empleó de una ma-
nera experimental en medicina poco después de haberlo -
descubierto un médico francés a principios del siglo -
XVII. Se encuentran pocos datos sobre su uso hasta dos
siglos después. Fué conocido como sustancia medicinal-
en la farmacopea de 1840. Su uso en la forma de benzoá-
tos para la inflamación de la vejiga se conoció en 1843.

En la década 1870-79 se hicieron muchos experimentos en medicina interna con el ácido y sus sales, los cuales se administraron como antisépticos urinarios y en el tratamiento de la bronquitis y del reumatismo (se observó que el organismo tolera hasta 25 grs diarios de benzoato de sodio).

El interés en el ácido benzoico, medicinalmente hablando, tuvo un incremento notable, lo cual condujo a investigaciones de materias primas por medio de las cuales se obtuviera económicamente este producto. Una de ellas fué utilizando el ácido hipúrico ($C_6H_5CONHCH_2COOH$) obtenido de la orina de los caballos y de las vacas. La orina se evapora hasta aproximadamente una octava parte de su volumen original, se acidifica y enfría, cristalizando el ácido hipúrico, después se hidroliza para obtener el ácido por ebullición de su solución concentrada, con ácido clorhídrico o sulfúrico. La hidrólisis lo descompone en ácido benzoico y sal de glicina.

En 1870 se cambiaron estas materias primas por los procedentes del alquitrán de hulla. El primer paso es la obtención del ácido ftálico ($C_6H_4(COOH)_2$) y de éste se prepara el ácido benzoico. Se mezclan dos moles de ftalato de calcio y se calienta la mezcla a temperaturas entre 572 y 652° F, se forma el benzoato de calcio y de esta mezcla se separa el ácido benzoico.

Se llevó éste a escala industrial de 1863 a 1890. Otra forma de prepararlo fué por hidrólisis del fenil-tetra-cloro-metano ($C_6H_5CCl_4$) en 1866, pero no hubo de sarrollo industrial hasta la última década del siglo.- Otros procedimientos empleados en la segunda mitad del siglo XIX fueron la cloración del tolueno para convertirlo a cloruro de bencilo ($C_6H_5CH_2Cl$), que oxidado con ácido nítrico se obtiene el ácido benzoico. Otro fué la oxidación directa del tolueno con dióxido de manganeso y de otros compuestos de manganeso.

Un procedimiento industrial empleado al final del siglo XIX se basaba en la hidrólisis del benzonitrilo, C_6H_5CN (obtenido del alquitrán de hulla).

Por los procesos de fenil-tetra-cloro-metano y del cloruro de bencilo se fabricó el ácido benzoico durante los primeros 20 años del siglo XX.

En el período de rápidos progresos químicos tecnológicos que siguió después de la primera guerra mundial, se desarrollaron métodos industriales que no dependían de la cloración del tolueno, de los cuales se presentan a continuación los siguientes:

1. Oxidación del tolueno con ácido nítrico.

2. Descarboxilación del ácido ftálico o del ftá-
lato monosódico en solución acuosa.

3. Descarboxilación del anhídrido ftálico o áci-
do ftálico en fase vapor.

4. Descarboxilación del anhídrido ftálico.

5. Oxidación del tolueno con solución de dicroma-
to de sodio.

6. Oxidación de tolueno con aire.

1. El proceso de oxidación de tolueno con ácido -
nitríco fué el primero que en los Estados Unidos compi-
tió con el proceso de cloración y se empleó a gran esca-
la.

2. y 3. La descarboxilación del ácido ftálico o -
del ftálico monosódico en solución acuosa comenzó des-
pués de la primera guerra mundial. En los Estados Uni-
dos y Alemania se desarrollaron independientemente en -
la década de 1920-1929 los procesos de anhídrido ftáli-
co en fase vapor. Poco después en los Estados Unidos -
se sustituyó por la descarboxilación del ácido ftálico-
disuelto en anhídrido ftálico fundido.

4. La descarboxilación del ácido ftálico en solu-
ción de anhídrido ftálico, se convirtió en un factor im

portante en la producción del ácido benzoico de los Estados Unidos en 1930, unos cuantos años después se convirtió en una fracción considerable de la producción -- Norteamericana.

5. En Gran Bretaña se introdujo con gran éxito la oxidación del tolueno con dicromato de sodio en solución acuosa, industrializándose unos años antes de la segunda guerra mundial y empleado en Alemania durante esta guerra.

6. La fabricación de ácido benzoico por oxidación del tolueno con aire se practicó en Alemania durante la segunda guerra mundial. Este procedimiento es interesante a la fecha. En los años 1875 y 1945 se habló de métodos para realizar esta oxidación parcial, fracasando casi todas las tentativas realizadas para utilizar este método en la industria. La formación de ácido benzoico obtenido de la oxidación catalítica del vapor de tolueno fué observada primero por Coquilión en 1875, utilizando un catalizador de platino.

Walter describió en 1895 un método que consistía en hacer pasar vapor de tolueno y aire sobre un catalizador de óxido de vanadio (calentado al rojo oscuro), obteniéndose benzaldehído y ácido benzoico. Poco después el procedimiento fué patentado (1904). La oxidación de

tolueno con aire para producir ácido benzoico fué olvidada por años, hasta que en 1916 Gibbs descubrió un procedimiento muy parecido al de Walter. Después se estudiaron repetidos métodos para la preparación de ácido benzoico por oxidación catalítica del tolueno en fase vapor; empleándose en escala industrial. La oxidación del tolueno líquido con aire se aplicó en Alemania, teniendo una historia mucho más corta. Al carecer los progresos más importantes se produjeron entre 1934, 1935 y 1936.

Además de los anteriores casos expuestos, en el período de las dos guerras se propusieron otros métodos nuevos o modificados para fabricar el ácido benzoico que se basaban en la formación de: benzonitrilo por reacción de bencensulfónico con cianuro alcalino, seguido de hidrólisis del nitrilo. La oxidación de dibencilo con oxígeno molecular. Reacción del dióxido de carbono con el benceno en presencia de cloruro de aluminio. Reacción del benceno con el fosgeno en presencia de cloruro de aluminio. Oxidación de tolueno con aire a la luz del sol y en presencia de antraceno. Reacción entre clorobenceno, vapor de agua y monóxido de carbono en fase gaseosa sobre un catalizador y la reacción de -

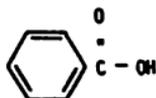
clorobenceno en solución bencénica con dióxido de carbono y sodio metálico. No se encuentra ninguna información de estos procedimientos, los cuales tuvieron un uso a escala industrial.

B. Fórmula.

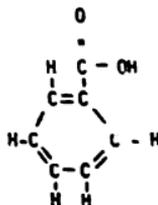
La fórmula en forma reducida del ácido benzoico es como sigue:



O también puede expresarse:



En forma desarrollada es como sigue:



Donde las dobles ligaduras se encuentran en resonancia, proporcionando características de anillo aromático.

C. Propiedades Generales.

1. Propiedades físicas y químicas:

Punto de fusión	252.275 °F
Punto de ebullición	480.56 °F
Presión de vapor	122 °F a 482 °F
Sólido	$\log P_{mm} = 11.956 - 4409 (1/T)$
Líquido	$\log P_{mm} = 30.172 - 4714 (1/T)$ $- 6.720 \log T$
Densidad	1.321
$d_4^{122.375}$	1.089
d_4^{180}	1.029
n_d^{15}	1.53
$n_d^{131.4}$	1.5
Viscosidad a 252.5 °F	1.67 cp
Viscosidad a 266 °F	1.26 cp
Tensión superficial a 266 °F	5.6×10^{-3} Poundsals/in
Tensión superficial a 302 °F	5.5×10^{-3} Poundsals/in
Tensión superficial a 338 °F	4.9×10^{-3} Poundsals/in
Calor específico (líquido) 122.3 - 322 °F	0.76 BTU/lb
Calor de fusión (calculado)	59.0 BTU/lb
Calor de fusión (medido)	61.0 BTU/lb
Calor de combustión	26 428.4 Joules

Energía libre a 77 °F (líquido)	234 BTU/mol
Coefficiente de dilatación cúbica	73.9-256.2 °F
K 45 °F	6.339×10^{-5}
Punto de inflamación	249.8-267.8 °F

Solubilidad en agua del ácido benzoico:

Temperatura (°F)	lbs/galón de agua
0	0.010
50	0.012
68	0.014
75	0.023
86	0.035
72	0.050
122	0.070
140	0.100
158	0.147
176	0.229
194	0.375
203	0.567

A 193.4 °F la mezcla de ácido benzoico y agua forman dos fases líquidas. Esas dos fases persisten a tempera--

turas elevadas, acompañadas en determinadas condiciones por una tercera fase de ácido benzoico sólido. Las dos fases líquidas se convierten en una al llegar a la temperatura crítica de disolución 242.9 °F, la composición de la mezcla es 32.34% de ácido benzoico y 67.66% de -- agua.

La solubilidad del ácido benzoico a 77 °F en disolventes no acuosos se muestran a continuación:

Disolvente	lbs/galón de disolvente
Alcohol etílico absoluto	4.87
Eter etílico	3.40
Cloroformo	1.25
Tetracloruro de carbono	0.34
Acetona	4.64
Benceno	1.01
Tolueno	0.88
Metanol (73.4 °F)	5.96
Alcohol etílico (50 °F)	3.93
Eter (50 °F)	3.33

Las especificaciones del ácido benzoico grado técnico y grado USP se muestran en la siguiente tabla:

Especificaciones	USP	Técnico
Color	Blanco	Blanco o ligero crema
Punto de fusión	249.8-253.4 °F	249.8-253.4 °F
Forma	Polvo u hojuelas	Poivo u hojuelas
Residuo	0.05%	--
Compuestos clorinados	Pasan prueba	--
Sustancias carbonizadas fácilmente	Pasan prueba	--
Humedad	Pasan prueba	--
Metales pesados	20 ppm. máx.	--

La USP XVI exige para el ácido benzoico una pureza de 99.5% y para el benzoato de sodio 99.0%, calculado sobre productos deseados.

El ácido benzoico y el benzoato de sodio vendidos bajo las normas de la USP superan las normas de la farmacopea, por consiguiente, son pocas las impurezas que tienen que investigarse y los análisis son relativamente sencillos.

La determinación precisa de la temperatura o del intervalo de la congelación es un método útil para averi--

guar la pureza del ácido libre. Las impurezas más probables son los ácidos clorobenzoicos (en el ácido obtenido por el método de cloración), el anhídrido ftálico o el ácido ftálico en el método por descarboxilación del ácido ftálico. Para la determinación de impurezas en el método de cloración, se requieren análisis muy exactos, pues el porcentaje de cloro suele ser muy pequeño. Para la determinación del ácido ftálico en el ácido benzoico o en el benzoato de sodio se recomiendan métodos polarográficos.

El benzoato de sodio puede determinarse con una solución valorada de un ácido en presencia de éter etílico. El objeto del éter es mantener en solución el ácido benzoico a medida que se libera. Cuando se alcanza el punto final con el anaranjado de metilo, se desecha la capa de éter y se extrae el benzoato de sodio con otra porción de éter, se continúa la valoración con anaranjado de metilo, hasta que se alcanza un segundo punto final que no varía por nueva extracción con éter.

2. Reacciones químicas:

El ácido benzoico pasa por una serie de reacciones químicas del ácido monocarboxílico (en respuesta a las reacciones del grupo carboxílico), que contienen ciertas reac-

ciones que ocurren comúnmente en el anillo aromático.

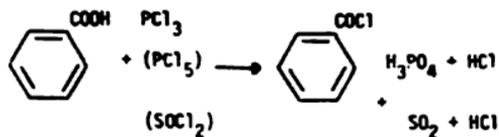
Los ejemplos de las reacciones más importantes se muestran a continuación:

a. Reacciones del grupo carboxílico:

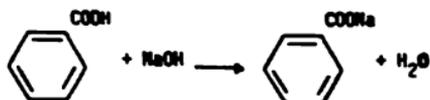
a.1. Esterificación:



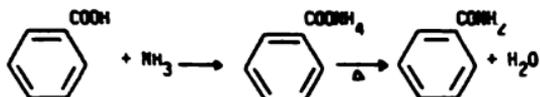
a.2. Cloruros de ácidos:



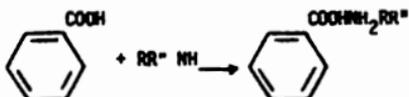
a.3.1. Formación de sales:



a.3.2.



a.3.3.



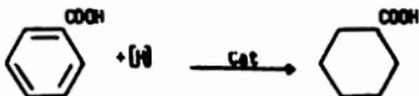
Donde R y R' pueden ser hidrógeno, alquil -
o aril.

a.4. Formación de nitrilo

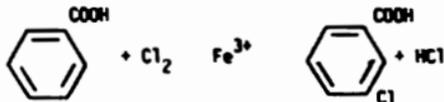


b. Reacciones del anillo aromático.

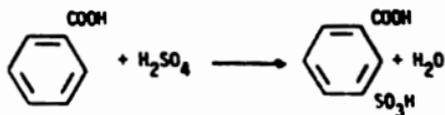
b.1. Reducción



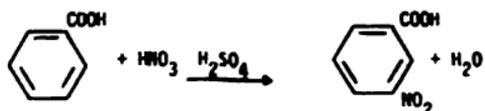
b.2. Cloración



b.3. Sulfonación



d.4. Nitración



b.5. Oxidación a fenol



c. Almacenamiento

El ácido benzoico presenta problemas de almacenamiento debido a que es higroscópico y absorbe humedad del medio si no se cuenta con una adecuada protección.

En el caso de un polvo finamente dividido, si se almacena durante mucho tiempo puede ocurrir una aglutinación del mismo en forma de grumos, por lo cual -- los tiempos largos de almacenamiento no son recomendables.

D. Usos del ácido benzoico.

d.1. Como intermediario en la manufactura de:

- a. Sales metálicas
- b. Esteres

- c. Plásticos
- d. Tintes y corrosivos
- e. Resinas sintéticas
- f. Pesticidas

d.2. Como preservativo:

El ácido benzoico es una sustancia que es reconocida por sus propiedades como un preservativo en los alimentos según el artículo de la Sección 409 - de la Federación Alimenticia (Drogas y Cosméticos), y según la enmienda (Registro Federal 1/30/61, 26 - F.R. 938). El uso de este producto en alimentos es permitido en cantidades no mayores al 1% en peso. - Condiciones prescritas por el acta requieren que el grado del material alimenticio se use de acuerdo -- con una buena práctica de la manufactura.

El ácido benzoico es normalmente usado en la - formación de benzoato de sodio para la preservación de alimentos, cosméticos y preparaciones farmacéuticas, por su solubilidad en agua es frecuentemente - usado directamente. Para este propósito es necesario que la acidéz media esté en un rango entre 4 y 6 pH.

d.3. En resinas alquídicas y pinturas:

Las resinas alquídicas son modificadas por el uso de ácido benzoico, adquiriendo propiedades de ser claras.

Algunos barnices con el uso del ácido benzoico presentan una viscosidad estable y esto incrementa su tiempo de servicio.

El ácido benzoico usado en la producción de resinas alquídicas permite la producción de resinas en bajo nivel de acidéz, obteniéndose mejoras en su apariencia, en alcalinidad y resistencia al agua. El ácido benzoico controla su viscosidad actuando como una cadena molecular que detiene la formación de la resina. Cuando se usa para controlar la viscosidad de la resina, también contribuye en las siguientes-- propiedades deseadas:

- a. Más fácil de secar
- b. Capas más duras
- c. Mayor resistencia a la humedad
- d. Aumenta la resistencia alcalina

El ácido benzoico modifica los aceites alquídicos de alto peso molecular, dando un secado más rápi

do y un mayor endurecimiento que mejora la resistencia al álcali. El ácido benzoico es generalmente reemplazado hasta un 40% en el ácido graso de cada formulación.

El ácido benzoico es usado en la manufactura de pinturas, siendo más tersas éstas al aplicarse, recubriendo en forma homogénea y permitiendo el uso de mayores cantidades de pigmentos. El brillo también mejora debido a una mejor distribución del pigmento en la superficie pintada.

d.4. Usos terapéuticos:

- a. Antisépticos
- b. Para estimular la expectoración
- c. Compuesto anestésico cuando se usa como agonista
- d. Bacteriostato en soluciones acídicas
- e. Para infecciones superficiales de la piel debido a su acción fungicida

d.5. Resinas poliéster para ayuda de pinturas:

Se sabe (Patente alemana 1,011,848) que los benzoatos de alcoholes aromáticos, fenoles y naftoles son muy útiles para la pintura de un alto peso molecular,-

polimerizando los teraftalatos de etileno con disper
sión y desarrollando mayor intensidad en los colores.

d.6. Como catalizador.

d.7. El ácido benzoico es fácil de adquirir en estado de
gran pureza. En estado puro se utiliza en los traba
jos científicos como audimetría, termometría y calo
rimetría.

Anexo a este estudio se encuentran una serie de usos
del ácido benzoico, los cuales fueron obtenidos por me--
dio del Chemical Abstracts. Se proporciona solo el títu
lo y la referencia para su fácil localización. (Ver An
exo 1).

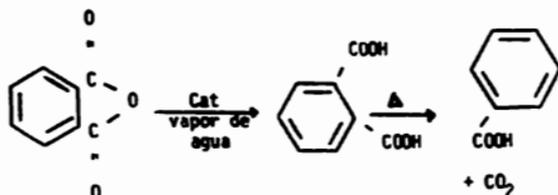
- C A P I T U L O III -

III. OBTENCION DEL ACIDO BENZOICO:

A. Descripción de los principales métodos de obtención:

1. Descarboxilación del ácido ftálico disuelto en anhídrido ftálico:

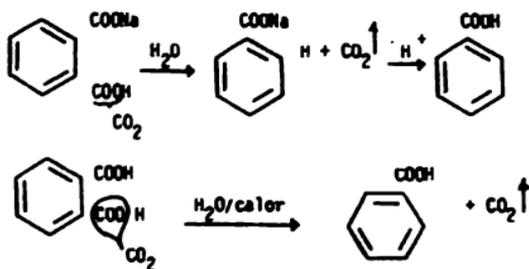
Este procedimiento consiste en introducir vapor de agua en anhídrido ftálico fundido, el cual contiene un catalizador para la descarboxilación. Se forma momentáneamente ácido ftálico, descomponiéndose en ácido benzoico y dióxido de carbono.



2. Descarboxilación del ácido ftálico disuelto en agua:

Consiste en tratar ácido ftálico o ftalato monosódico en solución acuosa para formar ácido ben--

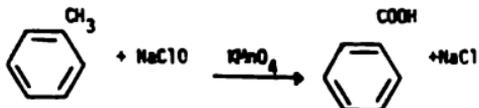
zoico o benzoato de sodio, respectivamente, en cuyo caso la sal será acidulada para obtener el ácido correspondiente



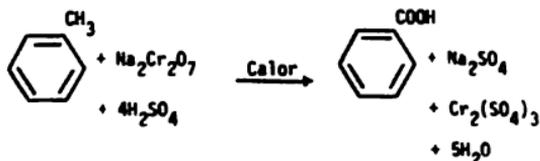
3. Oxidación del tolueno con ácido nítrico:



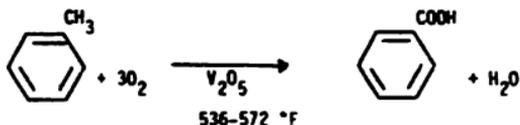
4. Oxidación del tolueno con una solución de hipoclorito de sodio, utilizando dióxido de manganeso - sodio-potasio como catalizador:



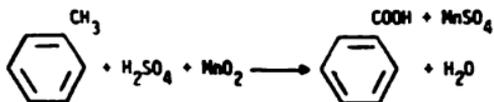
5. Oxidación del tolueno con una mezcla de piroclucita y ácido sulfúrico:



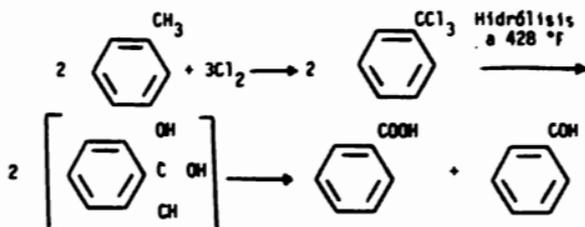
6. Oxidación de tolueno con aire utilizando como catalizador pentóxido de vanadio en un rango de temperatura de 536-572 °F :



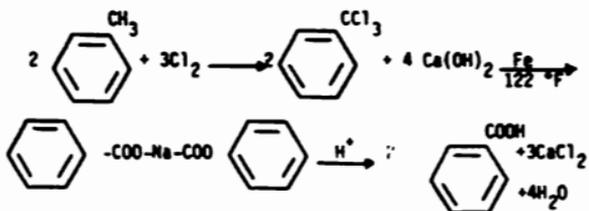
7. Oxidación de tolueno a partir de una mezcla de ácido sulfúrico y dióxido de manganeso:



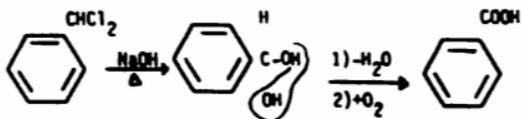
8. A partir de tolueno con cloro para obtener el benzotricloruro, después se saponifica y se obtiene el ácido:



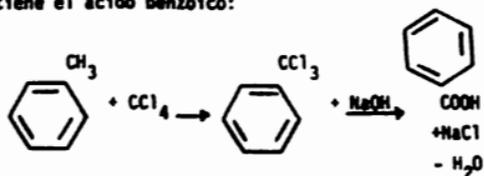
O en lugar de saponificar para obtener el ácido, se puede realizar con cal y fierro con polvo como catalizador:



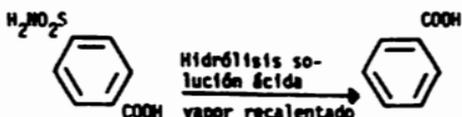
9. A partir del cloruro de benzilo con una saponificación y posteriormente una oxidación, se obtiene el ácido benzoico:



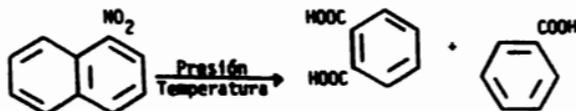
10. A partir del tolueno, tratándolo con tetracloruro de carbono y posteriormente con sosa se obtiene el ácido benzoico:



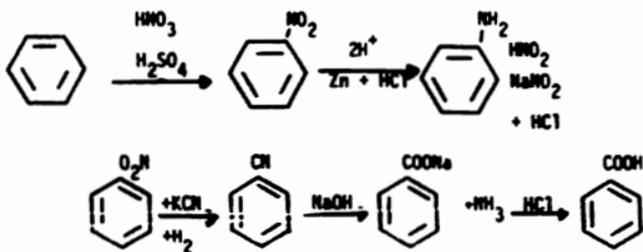
11. A partir del ácido para-sulfo-amino-benzoico o de la amida (estos productos se pueden obtener en la formación de la sacarina), éste se hidroliza con vapor de agua, recalentado en una solución de ácido sulfúrico concentrado:



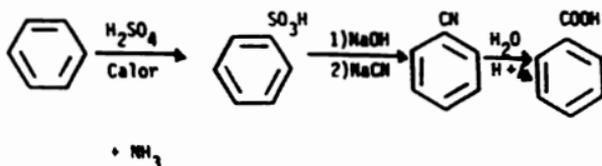
12. A partir de nitronaftol con álcalis y -- cloruro de sodio, elevando la temperatura y a una presión alta obtenemos una mezcla de ácido ftálico y ácido benzoico



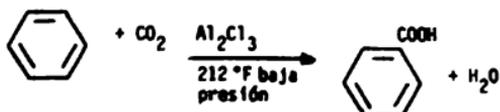
13. A partir de benceno por sales de diazono. Primero se realiza una nitración, posteriormente se reduce y con ácido clorhídrico y zinc se forma la sal de diazonio, se introduce cianuro y se trata con hidróxido de sodio, y por último se acidula para obtener el ácido benzoico:



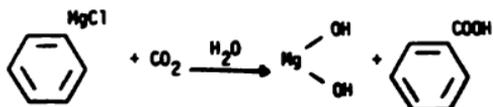
14. A partir de benceno se realiza una sulfonación, después se calienta con sosa y cianuro de sodio, y por último, se hidroliza en medio ácido con temperaturas:



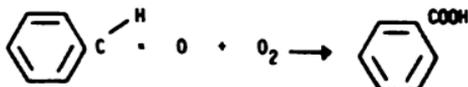
15. A partir de benceno y CO_2 , con cloruro de aluminio a temperatura de 212°F y presión baja:



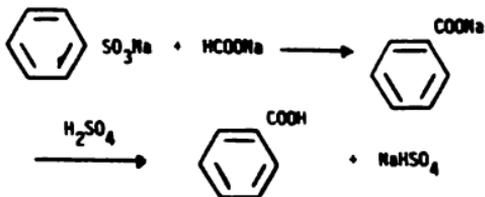
16. Por método de Grignard a partir de cloruro de benceno:



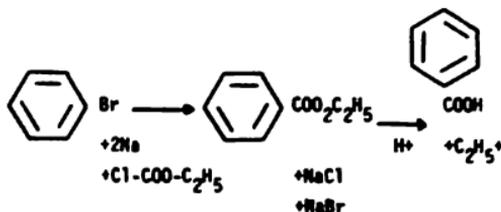
17. Por oxidación de aldehidos aromáticos - con oxígeno:



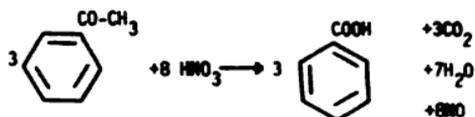
18. Por destilación del benceno sulfonato de sodio en presencia de formiato de sodio se obtiene el benzoato de sodio y acidulando se llega al ácido:



19. Una mezcla de bromobenceno y el ester del ácido clorocarbónico metálico en presencia de sodio (la cual debe ser equimolecular):



20. Oxidación de la acetofenona en caliente, con ácido nítrico:

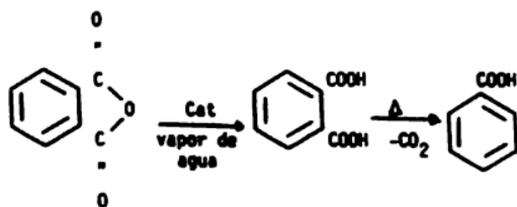


B. Selección de los métodos adecuados desde el punto de vista químico:

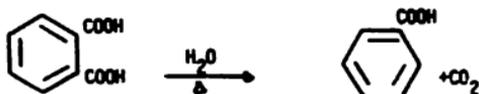
Desde el punto de vista químico se seleccionan aquellos métodos, los cuales ofrezcan la mayor conversión, incluyendo el menor número de pasos necesarios.

Los métodos adecuados son:

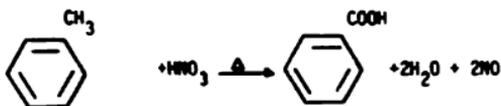
1. Descarboxilación del ácido ftálico disu-
uelto en anhídrido ftálico:



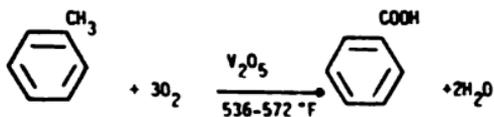
2. Descarboxilación del ácido ftálico disuel-
to en agua:



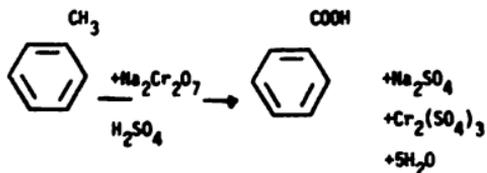
3. Oxidación de tolueno con ácido nítrico:



4. Oxidación de tolueno líquido con aire:



5. Oxidación de tolueno con dicromato de sodio:



C. Consideraciones sobre la reacción:

Se tienen en cuenta factores importantes sobre cada una de las reacciones seleccionadas para la obtención del ácido benzoico y de esta manera seleccionar el método más adecuado.

Los factores a tratar son: Número de pasos de la reacción, eficiencia de la reacción, disponibilidad de materia prima y pureza del producto terminado.

1. Descarboxilación del ácido ftálico disuelto en anhídrido ftálico.

Observaciones sobre materia prima y catalizador usado.

No es necesario que el anhídrido ftálico empleado sea muy puro, puede contener ácido benzoico (impureza común en el anhídrido ftálico bruto), un 1% de anhídrido maleico e indicios de materia colorante. El catalizador contiene siempre como componente principal dicromato de sodio, acompañado a veces por cobre, sodio, níquel, cobalto o aluminio. La cantidad de catalizador usada es del orden del 2 al 40% de la cantidad de anhídrido ftálico de la reacción.

Proceso de obtención.

Anhídrido ftálico en estado líquido se agrega en un reactor cerrado que contiene dicromato de sodio como catalizador y se calienta a fuego directo (el catalizador puede ser reciente o procedente de un tratamiento anterior). La mezcla se lleva a una temperatura superior a 392 °F y se agita. Se introduce vapor de agua de modo que se disperse bien en toda la masa. De esta manera se obtiene la descarboxilación del ácido ftálico, desprendiéndose una gran cantidad de calor, siendo importante mantener la temperatura a un rango de 392 a 452 °F.

El reactor está provisto de un condensador de reflujo de capacidad suficiente para condensar el -

ácido benzoico que se gasifica, el cual se retorna al reactor, conteniendo también agua y ácido ftálico disuuelto. En el condensador se elimina dióxido de carbono y vapor de agua, el dióxido de carbono lleva consigo ácido benzoico, por lo cual se lava con una solución de carbonato de sodio para recuperarlo. La reacción continúa hasta que la fase de ácido benzoico condensado en el reactor contenga menos de un 5% de anhídrido ftálico o de ácido ftálico. La mayor parte del contenido del reactor se destila con vapor sobrecalentado y una pequeña fracción queda con el catalizador en el reactor.

La destilación con vapor de agua del producto de la reacción proporciona una separación satisfactoria del ácido benzoico y las impurezas existentes; éstas quedan en el reactor y una parte considerable del ácido ftálico (o anhídrido) que no ha reaccionado se va con el destilado.

El destilado forma entre 194 y 212°F dos capas, - la capa mayor es de ácido benzoico, la otra principalmente de agua. Como la concentración de ácido benzoico es alta, se disminuye la temperatura logrando cristalizarlo a 150°F. La cantidad de ácido ftálico en el ácido benzoico es mucho mayor en la fase acuosa que en fa-

se sólida. Para separar el ácido ftálico de la fase líquida y sólida se agita la fase de ácido benzoico con agua caliente y periódicamente se separa la fase acuosa rica en ácido ftálico. Para esta operación es preferible un intervalo de temperatura entre 194 y 203 °F.

Se separa el ácido ftálico del ácido benzoico, se deshidrata por el calor el ácido benzoico fundido y húmedo, luego se sublima; el sublimado es ácido benzoico-comercial. La mezcla catalizadora usada en la reacción pierde parte de su eficiencia después de que se ha empleado en varias operaciones. Entonces ésta se saca del reactor, y como contiene ácido benzoico, se lleva a una solución de carbonato de sodio. Para separar el ácido benzoico como benzoato de sodio se filtra y posteriormente se acidula. El ácido recuperado de esta manera es impuro y es preciso refinarlo por destilación con vapor de agua.

Cuando la descarboxilación catalítica del ácido ftálico disuelto en anhídrido ftálico se realiza en condiciones favorables, se obtiene un rendimiento casi teórico de ácido benzoico en laboratorios hasta 97 o 98%, pero en la industria no se alcanzan nunca rendimientos tan altos. Los rendimientos obtenidos oscilan entre 85 y 90%.

2. Descarboxilación del ácido ftálico en agua.

Consiste en tratar ácido ftálico o ftalato monosódico en solución acuosa y un catalizador de dicromato - de sodio para formar ácido benzoico o benzoato de sodio, respectivamente.

La temperatura necesaria para la descarboxilación produce presión alta, y por esta razón es necesario operar en autoclave.

3. Oxidación de tolueno con ácido nítrico.

La oxidación del tolueno con ácido nítrico diluido es lenta a la presión ambiental y temperatura alrededor de 180°F, pero si se lleva a altas temperaturas y presiones, la reacción es muy rápida.

Se ha demostrado que en intervalos de 441 y 735 -- lbs/in² de presión y temperatura de 380-395°F se obtienen rendimientos satisfactorios.

Es necesario que se cargue constantemente el reactor por adición del ácido nítrico o de ambos reactantes. Bajo estas condiciones no se puede usar un exceso de -- ácido en la mezcla reaccionante, posiblemente hasta --- cuando es agregada la última porción del ácido.

Se ha desarrollado este proceso a carga continua - de uno a uno (ácido y tolueno) con bombas de presión, - regulando la adición de materias primas y la obtención de ácido benzoico.

Se debe tener en cuenta en este proceso el evitar la formación de compuestos nitrados, por lo cual se mantienen concentraciones estequiométricas suficientes de ácido nítrico. Esto también ayudará a que la oxidación del tolueno sea lo más completa posible y se tenga menor cantidad de productos de oxidación intermedia, como es el benzaldehído y el alcohol correspondiente.

Se deben mantener temperaturas y presiones altas - para aumentar la velocidad de la reacción, logrando obtener de esta manera un rendimiento entre 85 y 90%.

4. Oxidación del tolueno líquido con aire.

En un convertidor revestido de tantalio se introduce tolueno y trazas de cobalto. Esta mezcla se lleva a rangos de temperaturas entre 356 y 392 °F y presiones - mayores a 735 lbs/in², manteniendo ambos parámetros --- constantes.

Se pasa aire a través de la mezcla durante un cierto período (aproximadamente 3-5 horas). Se mantiene la presión y la temperatura en rango constante para así -- ayudar a una oxidación completa.

El gas que sale se hace pasar por un condensador y por trampas de condensables, separando el ácido benzoico de los productos de oxidación por medio de su cristalización. La conversión y el rendimiento de este proceso es muy eficiente, alcanzando valores hasta de un 95%.

Cabe hacer notar que este proceso es muy económico y tiene una velocidad de reacción rápida. Además, es - un proceso sencillo y bastante aceptable.

Se deben tener precauciones en la cantidad de oxígeno necesario para su oxidación, por lo que se debe regular la entrada de aire.

5. Oxidación del tolueno con dicromato sódico.

Se calientan en autoclave durante dos o tres horas (482-672°F) tolueno y una solución acuosa de dicromato sódico, agitando violentamente, formándose benzoato de sodio, hidróxido de sodio y ácido crómico.

La autoclave se enfría hasta unos 212°F y se des-

tilla el tolueno que no ha reaccionado. Se añade ácido para neutralizar el hidróxido de sodio y obtener el ácido benzoico (a partir de su sal).

Después se separa por filtración el óxido crómico, se lava y se vuelve a cargar en el autoclave con agua y una cantidad de hidróxido de sodio (para formar dicromato de sodio), después se pone la carga en la autoclave-bajo una presión de aire de 1 400 lbs/in² y se calienta a 536-572 °F durante 4-8 horas, mientras se hace salir aire parcialmente privado de oxígeno. La solución de dicromato sódico formada se utiliza para oxidar otra -- carga de tolueno.

6. Benzotricloruro partiendo de tolueno:

El benzotricloruro se descompone en ácido benzoico, calentándolo con agua a 284-374 °F, la descomposición - se efectúa por la acción del agua con óxido de calcio - en presencia de hierro en polvo (que actúa como catalizador acelerante). El óxido de calcio facilita la reacción porque neutraliza el ácido clorhídrico formado, y al mismo tiempo impide la destrucción de los aparatos - por su acción corrosiva.

La reacción se realiza en un recipiente cerrado, -

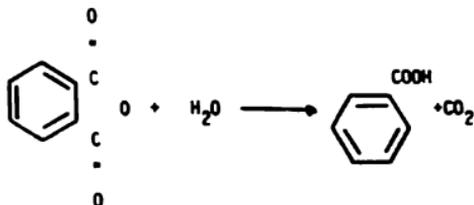
empleándose benzotricloruro, el cual se cubre con óxido de calcio. Posteriormente se añade hierro en polvo y se calienta el recipiente indirectamente con vapor de agua. Se elimina el vapor de agua, elevándose espontáneamente la temperatura y se expulsa con vapor directo todo el aldehído formado. El contenido del recipiente que al principio de la operación tiene consistencia semifluida pasa a ser un líquido casi claro, se filtra éste y se precipita el ácido benzoico con la adición de ácido clorhídrico. El tiempo de duración del proceso es de 9 a 10 horas.

D. Selección método industrial:

Industrialmente hay dos métodos importantes usados hasta el momento. Estos son a partir del tolueno.

Realizando un análisis para seleccionar el más adecuado, se tiene lo siguiente:

1. Anhídrido ftálico:



Esta reacción tiene un 85% de conversión.

Tomando como base una tonelada de ácido benzoico,-
se tiene:

PM anhídrido ftálico = 148

PM ácido benzoico = 122.12

Ahora se sabe que el kg. de anhídrido ftálico cuesta \$17.90 más 10% de I.V.A., entonces el costo de materia prima es de \$25,597.00 por tonelada de producto.

2. A partir de tolueno:



en el cual la reacción tiene un 90% de eficiencia.

Tomando como base una tonelada de ácido benzoico -
tenemos:

PM tolueno = 92.13 PM ácido benzoico = 122.12

Para obtener una tonelada de ácido benzoico se necesitan 840.9 kg. de tolueno. El kg. de tolueno tiene un valor de \$6.50 (fuente: Pemex), entonces 840.9 kg. - tienen un valor de \$5,465.85.

Observando la diferencia en costos y además de que próximamente Petroleos Mexicanos va a construir una --- planta productora de tolueno con una capacidad de --- 371,000 ton/año, se recomienda el proceso vía tolueno, ya que se garantiza la disponibilidad de la materia prima necesaria.

Además, la eficiencia del proceso con anhídrido -- ftálico es menor que el proceso a partir de tolueno. Es conveniente hacer notar que la inversión inicial a partir de tolueno es mayor, pero a través de la operación de la planta, el proceso del tolueno es mucho más económico y conveniente, como se verá en el análisis de costos.

- C A P I T U L O I V -

IV. PROCESO DE FABRICACION DEL ACIDO BENZOICO.

A. Tecnologia disponible:

Como se observa en las fuentes informativas (Abstracts, libros de proceso industrial, etc.), la tecnología para la obtención del ácido benzoico a partir de la oxidación de tolueno con aire tiene variaciones, ya sea en el catalizador usado, en las condiciones de presión y temperatura, en las conversiones, algunos recomendados a nivel industrial, otros no. A continuación se cita su localización en el caso de consulta necesaria.

Oxidación de tolueno (84:4358r).

Se introducen 1.34 lbs de tolueno y .0028 lbs de cobalto (catalizador), se agita en una autoclave hasta alcanzar la presión de 69.3 lbs/in^2 , y una temperatura de 320°F . Se introduce aire a razón de 190 lbs/hr y se continúa agregando tolueno y cobalto (2.66 y 0.000154 lb/hr, respectivamente) durante tres horas. La mezcla de reacción se mantiene entre $340\text{-}356^\circ\text{F}$ y 190 lbs/in^2 , el vapor se sale por la parte superior en condensado y-

recirculando (en su mayor proporción es tolueno y agua). La conversión del tolueno a ácido benzoico es de un -- 65.2%.

Oxidación de tolueno en fase líquida (84:30600x).

Japón Kokai 75 37,743

Se prepara el ácido benzoico por oxidación de tolueno con aire, utilizando como catalizador una mezcla de níquel-cobalto, en ausencia de bajos ácidos grasos y halocompuestos.

Se alimenta aire (220 lbs/hr) a una mezcla de 0.44 lbs de tolueno, 0.071 lbs de yodo, .011 lbs de benzaldehído y 0.132 lbs de níquel y acetato de manganeso durante 2.5 hrs, manteniéndose una temperatura de 392 °F y una presión de 200 lbs/in². La eficiencia de la reacción obtenida es de un 79.5% con recirculación.

Manufactura catalítica del ácido benzoico (81:3607m)

Una mezcla de manganeso y cobalto es utilizada como catalizador en Bach, para oxidación en fase líquida y continua de tolueno a ácido benzoico, con aire o con un gas que contenga oxígeno a una presión de 160-235 -- lbs/in² y una temperatura de 370 °F. La conversión obtenida es de un 60%.

B. Selección de la tecnología:

La selección de la tecnología para la obtención del ácido benzoico se basa en recomendaciones que proporcionan las bases informativas.

El método seleccionado consiste en:

La oxidación de tolueno con aire en presencia de sales de cobalto (catalizador).

1. Materia prima. Tiene un costo menor que las otras materias primas de los otros procesos.

2. La producción actual de tolueno en México es aceptable. Además, se tienen proyectos de construir plantas de tolueno, lo cual asegura su suministro.

3. La eficiencia de este proceso es aceptable y económica.

4. El número de pasos de la reacción de obtención del ácido benzoico son pocos, lo cual proporciona un proceso económicamente reproducible.

C. Descripción del proceso:

Se realiza la oxidación de tolueno con aire, utilizando como catalizador naftalato de cobalto, para la obtención de ácido benzoico.

Tolueno nuevo y recirculado se mezclan con una pequeña cantidad de naftalato de cobalto (0.1 a 0.3%) como catalizador, se introducen a un reactor con una temperatura de 176 °F, se debe llevar la mezcla a 300 °F -- (temperatura de reacción), para lo cual se utiliza líquido térmico como medio de calentamiento. Inmediatamente de iniciarse la reacción se introduce agua como medio de enfriamiento, esto es con la idea de mantener la temperatura constante en 300 °F, ya que la reacción es exotérmica.

Se introduce aire a la mezcla y se esparce en el reactor hasta que un 56% del tolueno se oxida, la reacción se mantiene a 300 °F de temperatura y 40 lb/in² de presión.

El tolueno que no reaccionó sale por la parte superior del reactor en forma de gas, mezclado con el residuo de aire que se utiliza en la reacción. Son llevadas a un condensador donde se enfría la mezcla a 212 °F

condensando el tolueno, se separa de aire y se lleva a un tanque de almacenamiento, para de aquí bombearlo al reactor. El tiempo de reacción utilizado es de 2.5 hrs.

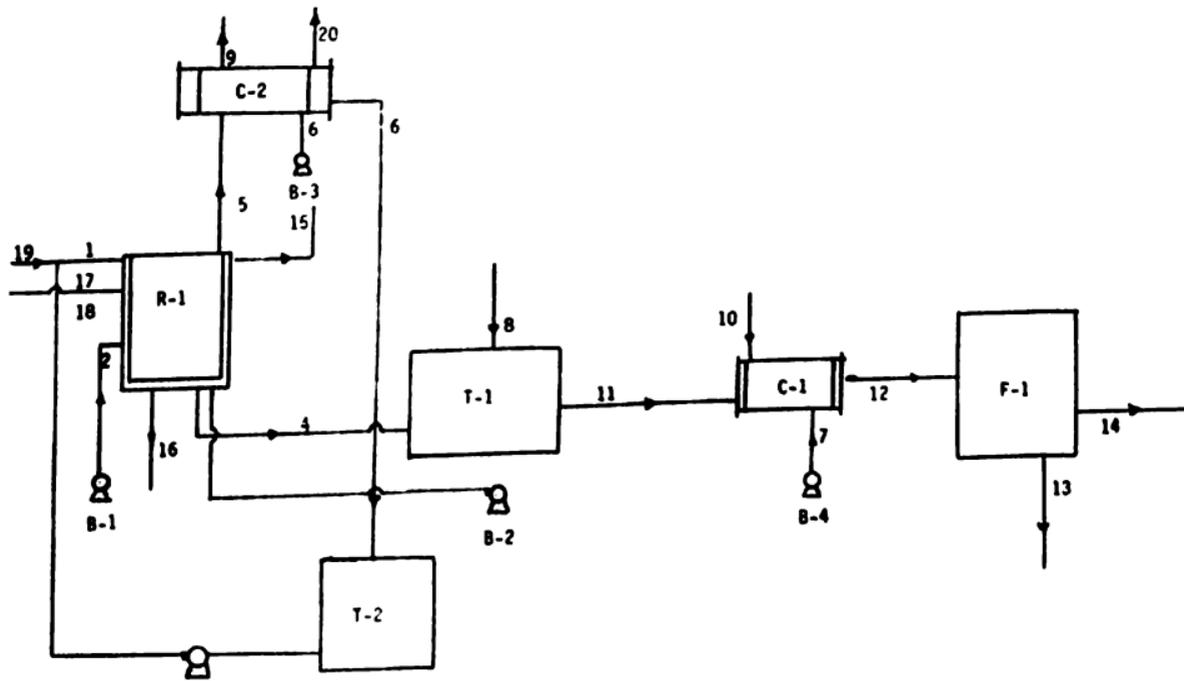
El ácido benzoico obtenido se encuentra contaminado por los productos de oxidación incompletos (el alcohol y el aldehído correspondientes) por lo cual es necesario separarlo. Se lleva a un mezclador donde se disuelve en agua (basado en su solubilidad) y se baja la temperatura de 300 a 190°F, logrando separar el -- ácido benzoico (tiempo de mezclado: 2 horas)

El ácido benzoico disuelto se lleva a un enfriador donde se baja la temperatura a 68°F, logrando la precipitación de sus cristales en un tiempo de 2.5 hrs (con agua como medio de enfriamiento).

Posteriormente el benzoico precipitado se lleva a un sistema de filtrado donde se separa y lava para alcanzar las especificaciones requeridas. Los subproductos de reacción y el ácido benzoico (pérdidas), ya que están disueltas en el agua, se llevan a otros sistemas para su preparación. El tiempo requerido es de 3 hrs.

Descripción del equipo:

2,16,6,9,7,10	Agua de enfriamiento
4,15	Líquido térmico
17	Línea del aire p/oxidación
6,18	Recirculación del tolueno



19	Repuesto del tolueno
5	Mezcla gaseosa de tolueno y aire
20	Aire residual después de la oxidación
3,11,12	Productos de oxidación -- del tolueno
8	Agua para disolver el ácido benzoico
14	Acido benzoico sólido
13	Residuos de oxidación
R-1	Reactor
T-1	Tanque de mezclado
T-2	Tanque de almacenamiento de tolueno
C-1, C-2	Enfriadores
F-1	Filtro
B-1, B-3, B-4	Bomba de recirculación de agua en enfriado
B-2	Bomba para líquido térmico

F. Balance de materia, energía y diseño de equipo:

1.1. Pérdidas en el sistema:

Al revisar el proceso se encuentra que el ácido benzoico se disuelve en agua a 194 °F, posteriormente se lleva a un enfriador donde se precipita el ácido benzoico a 68 °F. Se sabe que la solubilidad del áci-

do benzoico a 194 °F es de $0.03755 \frac{\text{lbs de ácido benzoico}}{\text{gal. de agua}}$

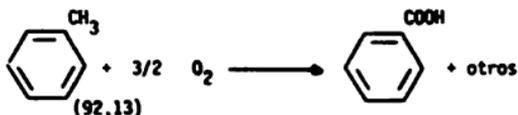
y a 68 °F es de $0.014 \frac{\text{lbs de ácido benzoico}}{\text{gal. de agua}}$. Esta es

la temperatura más baja que se puede manejar, debido a que si se enfría más, no variaría esta solubilidad abajo de 0.014 lbs/gal. y no tiene ningún motivo realizarlo.

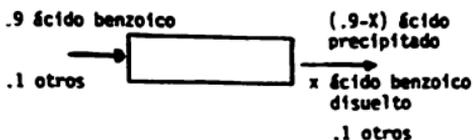
Como se puede observar, se tienen pérdidas de ácido benzoico y éstas suceden en el mezclador. Por tal motivo es necesario considerarlas en el balance de materia para obtener la cantidad del producto estimado.

Cálculo del por ciento de pérdidas:

Equipo de balance (enfriador de ácido benzoico):



Eficiencia de reacción:



Obtención del porciento de benzoico soluble en el agua a 68 °F con respecto de la solubilidad a 194 °F:

0.3755 lbs. ----- 100	0.014 lbs. ---- X%
194 °F	enfriar 68 °F

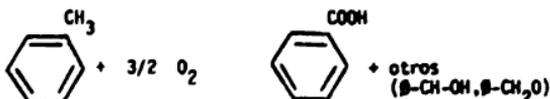
$$\frac{0.014 \times 100}{0.3755} = 3.73\%$$

Como se sabe, en la alimentación al enfriador se tiene un 90% de ácido benzoico y 10% de otros. El 3.73% está referido al ácido solamente, corrigiendo para el volúmen total se tiene:

$$\begin{array}{r} .9 \text{ ----- } 1 \\ \times \text{ ----- } 0.0373 \\ \hline \times = \quad .0335 \end{array}$$

lo que implica que el 3.35% es el que corresponde al ácido benzoico que se pierde. En el balance se tiene que multiplicar por 1.0335, de esta manera se estiman las pérdidas del ácido en el enfriador.

1.2. Cálculo del balance de materia:



$$\text{PM p-CH}_3 = 92.13$$

$$\text{PM p-COOH} = 122.12$$

$$\text{PM otros} = 107.125$$

La eficiencia de la reacción es de un 56%, la cual se incrementa hasta un 90% con recirculación.

1.2.1. Para 1 lb de ácido benzoico y un 90% de eficiencia de reacción, se necesita de tolueno:

$$\frac{100}{90} \times \frac{92.13 \text{ lbs de tolueno}}{122.12 \text{ lbs de ác. benzoico}} \times 1.0335 = 0.8663 \frac{\text{lbs tolueno}}{\text{lbs ác. benzoico}}$$

Para 2,200 lbs de ácido benzoico:

$$0.8663 \frac{\text{lbs tolueno}}{\text{lbs ác. benzoico}} \times 2,200 \text{ lbs ác. benzoico} = 1915.18 \text{ lbs tol.}$$

1.2.2. Cantidad de aire necesario para obtener --
2,200 lbs de ácido benzoico a 300 °F y 40 psia.

Se tiene que para 2,200 lbs a condiciones estándar se necesitan 550,000 ft³ (información de la literatura).

la corrección a condiciones de operación es la siguiente:

$$55,000 \text{ ft}^3 \times \frac{273^\circ\text{K}}{421.8^\circ\text{K}} \times \frac{40 \text{ psia}}{14.7 \text{ psia}} \times 1.0335 = 100,108.63 \text{ ft}^3$$

1.2.3. Catalizador usado naftalato de cobalto 1 al 3%.

Consumo de materia:

Producto	Consumo/ton. Prod. en lbs	Consumo/lote Prod. Ton.	Consumo/lote Prod. lbs
Tolueno	1 915.18	2.17	4 787.95
Oxígeno	907.95	0.41	2 242.4
Naftalato de cobalto (catalizador)	trazas	trazas	trazas

Transformación de ft^3 de aire a libras:

$$259\ 882 \frac{\text{ft}^3}{\text{lote}} \times 0.0808 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3} = 20\ 998.4 \text{ lbs}$$

2. Capacidad del reactor:

Se tendrá una producción anual de 3,300,000 lbs se tienen 300 días hábiles, la producción por día será de 11,000 lbs. El tiempo necesario por lote es de 12 hrs.

Se trabaja tres turnos, lo que implica que la producción por lote sea:

$$\frac{11,000 \text{ lbs}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hrs.}} \times \frac{12 \text{ hrs.}}{\text{lote}} = 5,500 \text{ lbs/lote}$$

Se estima que se tienen pérdidas en el mezclador de 3.73% del producto, ésto es:

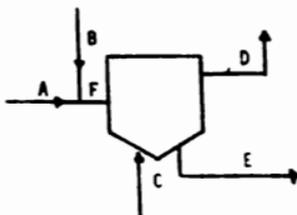
$$5,500 \times 1.0373 = 5,705.15 \text{ lbs/lote (producción total)}$$

La densidad de la mezcla se estima constante a través de la reacción 78.84 lbs/ft^3 , y considerando un factor de seguridad de 25% se tiene:

$$\text{Volumen del reactor} = 5,705.15 \text{ lbs} \times \frac{1}{78.84 \text{ lbs/ft}^3}$$

$$\frac{7.48 \text{ gal.}}{\text{ft}^3} \cdot 1.25 = \text{volumen del reactor} = 677.14 \text{ gal.}$$

El material de construcción recomendado por la tecnología es acero inoxidable 316:



Cálculo de las corrientes del reactor:

Corriente F.

Se requiere obtener 5,500 lbs de ácido benzoico por lote, con una eficiente de reacción del 90% y pérdidas de ácido benzoico en el mezclador de un 3.73%.

5,500 lbs ác. benzoico x 1.0373 = 5,705.15 lbs ác. benzoico
para una eficiencia de reacción de 90%

5,705.15 lbs ác. benzoico x $\frac{100}{90}$ = 6,339.05 lbs ác. benzoico
que transformadas a tolueno muestran la cantidad de tolueno
alimentada al reactor

$$6,339.06 \text{ lbs ác. benzoico} \times \frac{92.13 \text{ lbs tolueno}}{122.12 \text{ lbs ác. benzoico}} = 4,787.95 \text{ lbs tolueno}$$

$$F = 4,787.95 \text{ lbs tolueno}$$

Corriente B.

B es la recirculación de tolueno que no reaccionó inicialmente. Para saber la cantidad de lbs de tolueno recirculada, se toma la eficiencia inicial de la reacción que es de 56%, siendo incrementada con recirculación a un 90%

$$B = 4,787.95 \text{ lbs tolueno} \times 0.56 = 2,680.88 \text{ lbs tolueno}$$

Corriente A en el repuesto de tolueno al reactor

$$A = 4,787.95 (1-0.56) = 2,106.42 \text{ lbs de tolueno}$$

Cálculo de E.

El valor de E es el ácido benzoico que se quiere obtener, éste se fija tomando en cuenta la eficiencia de la reacción y las pérdidas existentes en el sistema.

La producción por lote es de 5,500 lbs de ácido benzoico con una eficiencia de reacción del 90% y pérdidas -

del producto terminado del 3.73% (en el mezclador).

$$5,500 \text{ lbs } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico} \times \frac{100}{90} \times 1.0373 = 6,339.05 \text{ lbs } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico}$$

lo que indica que se debe determinar materia prima (tolueno) para producir 6,339.05 lbs de ácido benzoico,

Los subproductos de la oxidación del tolueno como el aldehído y el alcohol correspondiente se obtienen como el 10% del tolueno alimentado y tomando un peso molecular promedio de 107.125

$$4,787.95 \text{ lbs tolueno} \times \frac{10}{100} \times \frac{107.125 \text{ lbs de otros}}{92.13 \text{ lbs tolueno}} = 557 \text{ lbs de otros}$$

Para producir 2,200 lbs de ácido benzoico se requieren 8,088.7 lbs de aire. Como se obtiene por lote 5,500 lbs de ácido benzoico y corrigiendo por pérdidas en el mezclador, se deben obtener después del reactor 5,705.15 lbs de ácido benzoico (para que las pérdidas de proceso no --- afecten la cantidad de producto deseada)

$$8,088.7 \frac{\text{lbs aire}}{2,200 \text{ lbs } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico}} \times \frac{5,705.15 \text{ lbs } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico}}{5,500 \text{ lbs } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico}} = 20,998.4 \text{ lbs de aire por lote de } \acute{\text{a}}\text{c. benzoico}$$

Cálculo de D.

La composición de aire es como sigue:

	% (volumen)	% (en peso)
Nitrogeno	78.1	75.5
Oxígeno	21.0	23.2
Argón	0.9	1.3

Para un flujo de 20,998.4 lbs de aire se tiene de oxígeno $.232 \times 20,998.4 = 4,871.6$ lbs.

Para obtener 122.12 lbs de ácido benzoico se requieren 48 lbs de oxígeno, como se obtienen 5,705.15 lbs de ácido benzoico.

El consumo de oxígeno es de:

$$\frac{48 \text{ lbs oxígeno}}{122.12 \text{ lbs ác. benzoico}} \times \frac{5,705.13 \text{ lbs ác. benzoico}}{1} = 2,242.4 \text{ lbs oxígeno}$$

Como se alimentan 4,871.6 lbs de oxígeno y se consumen --- 2,242.4 en la reacción, se obtiene en el aire de salida un contenido de 2,629.2 lbs de oxígeno.

2.1. Balance de calor en el reactor.

Consta de dos etapas:

Calentamiento de la mezcla de 176 °F hasta temperatura de reacción 300 °F .

176 °F es la temperatura de la materia prima alimentada.

Propiedades:

	Acido benzoico	Tolueno	Otros (°F)
Punto de fusión	251.06	-139	14.8
Punto de ebullición	480.5	231.4	354.2

El tolueno se calienta de 176 °F hasta 300 °F, su temperatura de gasificación es de 231.4 °F, por lo que el calor necesario es:

$$Q_{\text{tolueno}} = Q \frac{231.4}{176} + M \lambda_{231.4} + Q \frac{300}{231.4}$$

$$Q_{\text{aire}} = Q_{\text{aire}} \frac{300^{\circ}\text{F}}{68^{\circ}\text{F}}$$

$$Q_t = Q_{\text{tolueno}} + Q_{\text{aire}}$$

Datos:

Tolueno

$$\bar{c}_p (176-231.4^{\circ}\text{F}) = 0.449$$

$$c_p = \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}}$$

$$\lambda_{231.4^{\circ}\text{F}} = 63.6$$

$$\lambda = \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$\bar{c}_p (231.4-300^{\circ}\text{F}) = 0.3$$

$$m = 4,787.95 \text{ lbs/lote}$$

Aire

$$\bar{c}_p (68-300^{\circ}\text{F}) = 0.137$$

$$m = 20,998.4 \text{ lbs/lote}$$

Q tolueno

$$Q \frac{231.4}{176} = M C_p \Delta t = 4,787.95 (0.449) (55.4) = 119,098.34$$

$$Q_{\lambda} = 4,787.95 (63.6) = 304,513.62$$

$$Q \frac{300.0}{231.4} = M C_p \Delta t = 4,787.95 (0.3) (68.6) = 98,536.01$$

$$Q \text{ tolueno} = 522,147.97 \text{ BTU/lote}$$

$$Q \text{ aire} = MCp\Delta t = 20,998.4(0.137)(232) = 667,413.14 \text{ BTU/lote}$$

$$\begin{aligned} Q_t &= Q \text{ tolueno} + Q \text{ aire} \\ &= 1,189,561.1 \text{ BTU/lote} \end{aligned}$$

2.2. La reacción se mantiene en 300 °F constante, es isotérmica, por lo cual requiere de un medio de enfriamiento:

Datos de la tecnología

$$\Delta H \text{ productos} = -99.2 \text{ BTU/lb}$$

$$\Delta H \text{ reactivos} = 47.42 \text{ BTU/lb}$$

$$\Delta H \text{ reacción} = \Delta H \text{ productos} - \Delta H \text{ reactivos}$$

$$\Delta H \text{ reacción} = -99.2 - (47.42) = -146.92 \text{ BTU/lb}$$

$$Q = \Delta H_m = -146.92 \text{ BTU/lbs} \times 5,705.15 = -838,200.63 \text{ BTU/lote}$$

El calor de otros se considera un 10% del calor de --
reacción del ácido benzoico.

$$Q \text{ ácido benzoico} + Q \text{ otros} = Q \text{ total disipado}$$

$$838,200.63 (1.1) = 922,020.69 \text{ BTU/lote}$$

2.3. Cálculo del líquido térmico necesario para el calentamiento: El calentamiento es de 176 °F a 231.4 °F

Se alimenta a la superficie externa del reactor, se necesita dispersarlo para obtener un calentamiento homogéneo.

$$Q_t = 1,189,561.1$$

Datos obtenidos de la literatura para el líquido térmico usado:

$$C_p \text{ 500 }^\circ\text{F} = 0.62 \text{ BTU/lbs }^\circ\text{F}$$

$$C_p \text{ 400 }^\circ\text{F} = 0.58 \text{ BTU/lbs }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$M C_p \Delta T = Q$$

$$M = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{1,189,561.1}{0.6 (100)} = 19,826.01 \text{ lbs}$$

El tiempo de calentamiento es de 1.5 hrs.

$$\frac{19,826.01 \text{ lbs}}{1.5 \text{ hrs}} = 13,217.34 \frac{\text{lbs}}{\text{hrs}}$$

2.4 Sistemas de enfriamiento para el reactor:

El reactor consta de un serpentin interno para enfriamiento, el medio de enfriamiento es agua de 68 a 104 °F.

Datos:

$$Q_T = 838,200.63 \text{ BTU}$$

$$\Delta T = 36 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q = M C_p \Delta T$$

$$M = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{838,200.63}{0.6 (36)} = 23,283.33 \text{ lbs}$$

Este calor es disipado en 2.5 hrs.

$$M = \frac{23,283.33}{2.5} = 9,313.33 \frac{\text{lbs}}{\text{hrs}}$$

3. Cálculo de la bomba para el sistema de enfriamiento:

Temperatura máxima de operación	104 °F
Gasto en masa	9,313.33 $\frac{\text{lbs}}{\text{hrs}}$
Densidad	62.4 $\frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3}$
ΔP	30 $\frac{\text{lbs}}{\text{in}^2}$

$$W = \frac{(\Delta P) \text{ in}^2/\text{ft}^3}{\rho} = \frac{30 \text{ lbs/in}^2 (144 \text{ in}^2/\text{ft}^2)}{62.4 \text{ lbs/ft}^3} =$$

$$P = \frac{69.2 \text{ lbf}}{\text{lbm}} \text{ ft}$$

$$P = Ww = 69.2 (9,313.33) \frac{\text{lbm}}{\text{hrs}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3,600 \text{ hrs}} \times$$

$$\frac{\text{HP}}{550} \times \frac{1}{7} = 0.046 \text{ Hp}$$

Tomando un 25% sobre diseño:

$$Pd = 1.25 \times 0.046 = 0.16 \quad Pd = 1/4 \text{ Hp}$$

Cálculo del flujo en gal/min.

$$Q = 9,313.33 \frac{\text{lb}}{\text{hrs}} \times \frac{\text{ft}^3}{62.4 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ hrs.}}{60 \text{ min.}} \times 7.481$$

$$\frac{\text{gal.}}{\text{ft}^3} = 18.60 \text{ gal./min.}$$

Resumen del reactor:

Q suministrado = 1,189,561.1 BTU en un tiempo de dos horas, se usa líquido térmico para proporcionar dicho calor.

Q disipado = 838,200.63 en un tiempo de 2.5 horas, se usa agua como medio de enfriamiento.

Tiempo de reacción de 2.5 horas.

Volúmen del reactor = 677.14 gal.

4. Cálculo del enfriador de tolueno:

Aquí el tolueno se separa del aire y se retorna a un tanque, para alimentarlo al reactor.

Se enfría de 300 °F a 212 °F aire y tolueno mezclado.

A esta temperatura el tolueno es líquido y se puede separar del aire.

Datos de la literatura:

Tolueno

$$\bar{c}_p (300-230 \text{ } ^\circ\text{F}) = 0.6$$

$$230 \text{ } ^\circ\text{F} = 63.6$$

$$\bar{c}_p (230-212 \text{ } ^\circ\text{F}) = 0.59$$

Aire

$$\bar{c}_p (300-212 \text{ } ^\circ\text{F}) = 0.237$$

$$Q_T = Q \text{ aire} + M \text{ Tolueno} + Q \text{ tolueno}$$

$$Q \text{ aire} \frac{212}{300} = 18,643.9 (0.237) (88) = 388,837.17 \text{ BTU}$$

$$Q \text{ tolueno} \frac{230}{300} = 2,686.88 (.6) (70) = 112,848.96 \text{ BTU}$$

$$Q \text{ latente (tolueno)} = M \frac{230}{300} = 2,686.88 (63.6) = 170,885.56 \text{ BTU}$$

$$Q \text{ tolueno} \frac{212}{230} = 2,686.96 (.59) (18) = 28,535.51 \text{ BTU}$$

$$Q_T = 701,107.2 \text{ BTU}$$

Como se disipa en dos horas el calor, la relación en BTU/hr es la siguiente: 350,553.6

4.1. Medio de enfriamiento agua de 68 a 140 °F:

$$Q_T = M C_p \Delta T$$

$$M = \frac{Q_T}{C_p \Delta T}$$

$$M = \frac{701,107.2}{(1) (72)} = 9,737.6 \text{ lbs}$$

El tiempo de enfriamiento es de dos horas:

$$\frac{9,737.6 \text{ lbs}}{2 \text{ hrs.}} = 4,868.8 \frac{\text{lbs}}{\text{hrs.}}$$

4.2. Cálculo del área del enfriador:

Fluido frío		Fluido caliente
T_2 140	temperatura alta	t_1 300
T_1 68	Temperatura baja	t_2 212

$$LMTD = \frac{160 - 144}{\log n \frac{160}{144}} = 151.8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Cálculo de R y S:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{300-212}{140-68} = 1.22$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{140-68}{300-68} = 0.31$$

Para un arreglo 1-2 en la literatura

$$F_T = .94 \text{ (factor de corrección para LMTD)}$$

$$F_T \times LMTD = .94 (151.8) = 142.69 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Cálculo del área de transferencia:

$$A = \frac{Q}{U_D LMTD} = \frac{350,553.6}{115 \times 142.69} = 15.2 \text{ ft}^2$$

Especificaciones	Lado coraza	Lado de tubos
Fluido lb/hrs.	Agua 4,868.8	Tolueno 1,343.44
Temp. entrada $^\circ\text{F}$	68	300
Temp. salida	140	212
Presión psig	75	40
Caida de presión perm. psig	10 máx.	10 máx.
Servicio	Enfriador	
Superficie/unidad ft^2	15.2	
Montaje	Horizontal	

Coefficiente de transformación	115
Factor de incrustación total	0.003
Calor intercambiado BTU/hrs.	350,553.6

Material de construcción:

Tubos, tapa de coraza, cabezal, espejo : acero inoxidable 316.

Coraza, mamparas transversales, soportes de tubos: acero al carbón (arreglo 1-2).

5. Bomba de enfriamiento de tolueno:

Especificaciones.

Temperatura máxima de operación	300 °F
Gasto en masa	4,868.8 lbs/hrs.

$$W = (AP) (in^2/ft^2) = \frac{(30)(144)}{62.4} = 69.2 \frac{lb}{ft}$$

$$P = Wv = 69.2 \times 4,868.8 \times \frac{1}{3,600} \times \frac{Hp}{550} \times \frac{1}{.7} =$$

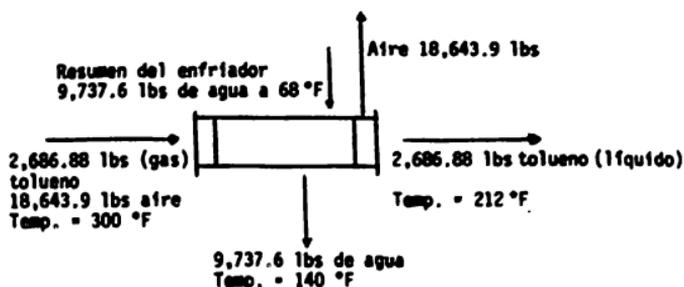
$$0.23 \text{ Hp}$$

$$Pd = 0.23 \times 1.25 = 0.28 \text{ Hp}$$

$$\text{Potencia} = 0.5 \text{ Hp}$$

Material de construcción:

Carcaza	Hierro fundido
Impulsor	Acero al carbón



Area de transferencia	15.2 ft ²
Calor disipado	701,107.2 BTU
Tiempo de operación	2 horas
Arreglo	(1-2)

6. Cálculo del tanque de almacenamiento de tolueno:

El tolueno recuperado se almacena en un tanque, y de aquí se bombea al reactor. La temperatura es de 212 °F.

El volumen del tanque es:

Volumen manejado de tolueno = 2,686.88 lbs

Densidad de tolueno a 212 °F = 49.9 lbs/ft³

$$V = \frac{2,686.88 \text{ lbs}}{49.9 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}^3}} \times \frac{7.48 \text{ gal.}}{1 \text{ ft}^3} \times 1.25 = 503.45 \text{ gal.}$$

6.1. Altura del tanque para un diámetro de 4 ft. --

con fondo plano:

$$h = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{503.45 \text{ gal.}}{3.1416 (4)^2 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ gal.}} = 5.35 \text{ ft}$$

Especificaciones:

Volumen, gal.	503.45
Altura, ft	5.35
Diámetro, ft	4
Acero inoxidable	316

7. Cálculo de la bomba de alimentación de tolueno:

Especificaciones:

Temperatura máxima de operaciones	212 °F
Gasto en masa	4,787.95 lbs
Gravedad específica	0.87
A P	25 lbs/in ²

$$W = \frac{P_d - P_s}{\rho} = \frac{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 \times 1 \text{ lb}/\text{in}^2}{54.28 \text{ lbs}/\text{ft}^3} = 66.32 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$$

$$P = Ww = 4,787.95 (66.32) \times \frac{1}{3,600} \times \frac{1}{550} \times \frac{1}{.7} = 0.22 \text{ Hp}$$

Potencia = .5 Hp

Material carcasa e impulsor - Acero inoxidable 316

8. Cálculo del mezclador:

La temperatura del ácido benzoico en el mezclador se lleva de 300 a 194 °F, el ácido benzoico solidifica a --- 251.6 °F. Se usa agua como medio de enfriamiento. La -- cantidad de agua se calcula en base a la solubilidad del ácido benzoico en agua a 194 °F. Esta operación se reali za en dos horas.

8.1. Agua necesaria para disolver el ácido benzoico a 194 °F. 5,705.15 lbs de ácido benzoico.

La solubilidad del ácido benzoico a 194 °F es de --- 0.375 lb/gal. de agua

$$\text{Agua necesaria} = \frac{1}{\frac{0.375 \text{ lbs ácido benzoico}}{\text{galón de agua}} \times \frac{1}{5,705.15 \text{ lbs benzoico}}}$$

$$= 5,270 \text{ galones} \times \frac{3.785 \text{ lts}}{\text{galones}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2} \times \frac{2.2 \text{ lbs}}{\text{kg}}$$

$$\text{Agua necesaria} = 43,883.25 \text{ lbs}$$

8.2. Calor a remover por el agua:

$$\text{Cálculo del } \bar{c}_p \left(\frac{\text{BTU}}{\text{lb-}^\circ\text{F}} \right)$$

Acido benzoico

$$\bar{c}_p (300-251.6) ^\circ\text{F} = \frac{0.287 + 0.0003(300) + 0.287 + 0.0005(251.6)}{2}$$

$$\bar{c}_p (300-251.6) ^\circ\text{F} = 0.425$$

$$251.6^{\circ}\text{F} = 61.3 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{Otros } (\beta - \text{CHO}, \beta - \text{CHOH}) \quad \bar{C}_p = 0.115$$

$$Q_T = - (Q \text{ ácido benzoico} + Q \text{ otros})$$

$$Q \text{ ácido benzoico} = Q \left. \begin{array}{l} 251.6^{\circ}\text{F} \\ 300^{\circ}\text{F} \end{array} \right| + Q \left. \begin{array}{l} 251.6^{\circ}\text{F} \\ 251.6^{\circ}\text{F} \end{array} \right| + Q \left. \begin{array}{l} 194^{\circ}\text{F} \\ 251.6^{\circ}\text{F} \end{array} \right|$$

$$Q \left. \begin{array}{l} 251.6^{\circ}\text{F} \\ 300^{\circ}\text{F} \end{array} \right| = 5,705.15 (0.36) (48.4) = 96,645.24$$

$$Q \left. \begin{array}{l} 251.6^{\circ}\text{F} \\ 251.6^{\circ}\text{F} \end{array} \right| = 5,705.15 (61.3) = 349,725.69$$

$$Q \left. \begin{array}{l} 194^{\circ}\text{F} \\ 251.6^{\circ}\text{F} \end{array} \right| = 5,705.15 (0.34) (57.6) = 111,729.65$$

$$Q \text{ ácido benzoico} = - 558,100.58 \text{ BTU/lb}$$

$$Q \left. \begin{array}{l} 194^{\circ}\text{F} \\ 251.6^{\circ}\text{F} \end{array} \right|$$

$$Q \text{ otros} = 557 (0.115) (106) = - 6,789.83 \text{ BTU/lb}$$

$$Q \text{ total} = - 564,890.41 \text{ BTU/lb}$$

8.3. Cálculo de la temperatura de entrada del agua:

$$Q = W C_p \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{W C_p} = \frac{-564,890.41}{43,883.25(1)} = -12.87$$

$$\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = t \text{ entrada} - T \text{ salida}$$

$$T \text{ entrada} = \Delta T_{\text{H}_2\text{O}} + T \text{ salida}$$

$$= -12.87 + 194 = 181.13^{\circ}\text{F}$$

8.4. Dimensiones del mezclador:

$$\text{Mezcla} = 71.81 \text{ lbs/ft}^3$$

$$\text{Agua} = 62.3 \text{ lbs/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. mezclador} &= \left[\text{lbs. H}_2\text{O} \left(\frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \right) + \text{otros} \left(\frac{1}{\rho_{\text{otros}}} \right) \right. \\ &+ \left. \text{lbs. (benzoico)} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ácido benz.}}} \right) \right] \frac{7.48 \text{ gal}}{\text{ft}^3} = \left[43,883.25 \right. \\ &\left. \left(\frac{1}{62.3} \right) + 557 \left(\frac{1}{71.81} \right) + 5,705.15 \left(\frac{1}{71.81} \right) \right] \frac{7.48 \text{ gal.}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen} = 5,921.0 \text{ gal.}$$

Con un factor de seguridad de 25%:

$$5,921.0 (1.25) \text{ gal.} = 7,401.25 \text{ gal.}$$

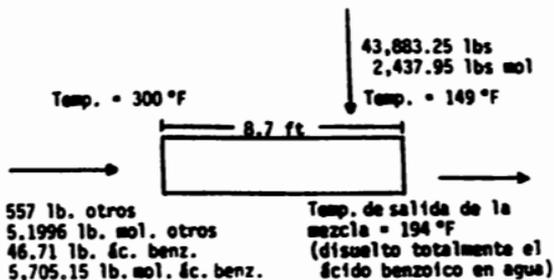
Longitud del tanque mezclador para un diámetro de 12 ft

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$L = \frac{4V}{D^2 \pi} = \frac{4(7,401.25)}{3.1416 (12)^2} = \frac{65.44 \text{ gal.}}{ft^2} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ gal.}}$$

$$L = 8.7 \text{ ft}$$

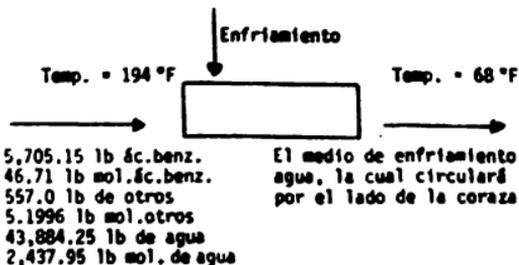
Resumen del mezclador



Especificaciones:

Volumen	7,401.25 gal
Longitud	8.7 ft
Diámetro	12 ft
Calor disipado	282,445.2 BTU/hrs.
Material	Acero inoxidable 316
Temperatura máxima	300 °F

9. Cálculo del enfriador del ácido benzoico:



9.1. Balance del calor:

$$Q = MC_p \Delta T$$

Datos

$$\bar{C}_p \text{ benzoico } (194-68 \text{ °F}) = 0.3145$$

$$\bar{C}_p \text{ otros } (194-68 \text{ °F}) = 0.110$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O } (194-68 \text{ °F}) = 1$$

$$Q_T = Q \text{ benzoico} + Q \text{ otros} + Q \text{ agua}$$

$$Q \text{ benzoico} = Q \frac{68 \text{ °F}}{194 \text{ °F}} = 5,705.15 (0.3145) (126)$$

$$Q_1 = 226,077.96 \text{ BTU}$$

$$Q \text{ otros} = Q \frac{68 \text{ °F}}{194 \text{ °F}} = 577 (.110) (126)$$

$$Q_2 = 7,997.22 \text{ BTU}$$

$$Q_{H_2O} = Q \frac{68^\circ F}{199^\circ F} = 43,883.25 (1) (126)$$

$$Q_3 = 1,140,964.5 \text{ BTU}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 1,375,039.6 \text{ BTU}$$

Tiempo de enfriamiento 2.5 horas

$$Q_T = \frac{1,375,039.6}{2.5} = 550,015.84 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Se utiliza agua como medio de enfriamiento de 68 a -
122 °F

$$T \text{ entrada} = 50^\circ F \quad T \text{ salida} = 122^\circ F$$

La cantidad de agua necesaria

$$Q = MC_p \Delta T$$

$$M = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \frac{550,015.84}{(1) (72)} = 7,639.10 \frac{\text{lbs}}{\text{hrs}}$$

9.2 Cálculo del área del enfriador:

Cálculo de UD:

Fluido frío = agua

Fluido caliente = sustancia orgánica media

Obtenemos de la literatura que la UD recomendada es:

$$UD = 125$$

Cálculo de la LMTD

Fluido frío	Fluido caliente	Diferencia
122 °F Temperatura alta	194 °F	72 °F
90 °F Temperatura baja	68 °F	18 °F
72 °F Diferencia	126	

$$LMTD = \frac{72 - 18}{\log n \frac{72}{18}} = \frac{54}{1.38} = 39.13^{\circ}F$$

9.3. Cálculo en R y S:

Fluido caliente:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{194 - 68}{122 - 50} = \frac{126}{72} = 1.75$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} = \frac{122 - 50}{194 - 68} = \frac{72}{126} = 0.5$$

F_T para intercambiador de (3-6)

$$F_T = .9$$

$$LMTD \times F_T = 39.13 (.9) = 35.22$$

$$A = \frac{Q}{UD \Delta T^{\circ}F} = \frac{550,015.84}{125(35.22)} = 124.93 \text{ ft}^2$$

Resumen del enfriador:

Area	124.93 ft ²
Q _T	1,375,039.6 BTU
Medio de enfriamiento	agua de 50-122 °F
Con un flujo de 7,639.12 lbs/hrs	

Especificaciones:

	Lado de coraza	Lado de tubos
Fluido lbs/hrs.	Agua: 7,639.12	
Temp. entrada °F	50	194
Temp. salida °F	122	68
Presión (psig)	75	50
Caida de presión perm. (psig)	10 máx.	10 máx.
Servicio	Enfriador	
Superficie por unidad	124.93 ft ²	
Montaje	Horizontal	
Coefficiente de trans- ferencia	125 BTU/lbs ft ² °F	
Factor de incrustación total	.003	
Calor intercambiado BTU/hrs	550,015.84	

Materiales de construcción:

Tubos, tapa de la coraza, cabeza, espejo : acero inoxidable.

Coraza, mamparas transversales, soportes de tubos: - acero al carbón.

10. Bomba de enfriamiento:

Temperatura máx. de operación	122 °F
Gasto en masa	7,639.12 lbs/hrs
Densidad	62.4 lbs/ft ³
AP	301b/in ²

$$W = \frac{(AP) \text{ in}^2/\text{ft}^2}{8} = \frac{30 \text{ lbs/in}^2 (144 \text{ in}^2/\text{ft}^2)}{62.4 \text{ lbs/ft}^3} = 69.2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$$

$$P = Wv = 69.2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ ft} \times 7,639.12 \frac{\text{lb}}{\text{hrs}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3,600 \text{ seg.}} \times \frac{\text{Hp}}{550} \times \frac{1}{.7} = 0.38 \text{ Hp}$$

Consideramos $n = .7$ en la anterior ecuación.

Tomando un 25% más como seguridad

$$P_d = 1.25 \times 0.38 = 0.47 \text{ Hp} \quad P_d = 0.5 \text{ Hp}$$

Cálculo del gasto en gal./min.

$$Q = 7,639.12 \frac{\text{lbs/hrs.}}{62.4 \text{ lbs}} \times 1 \text{ ft}^3 \times \frac{1 \text{ hr.}}{60 \text{ min.}} \times$$

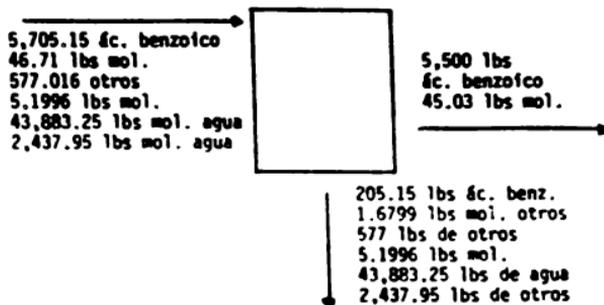
$$7,481 \frac{\text{gal.}}{\text{ft}^3} = 15.26 \text{ gal./min.}$$

Material de construcción:

Carcasa	hierro fundido
Impulsor	bronce

11. Cálculo del filtro:

Como se determinó en este capítulo, a la temperatura de 68°F se tienen pérdidas de ácido benzoico de un 3.75%, el cual se encuentra disuelto en el agua:



Tiempo de filtrado	3 horas
Temperatura de entrada	68 °F
Presión de descarga	25 psia.

$$\text{ác. benzoico} = \frac{5,705.15 \text{ lb ác. benzoico}}{1.0375} = 5,500 \text{ lbs ác. benzoico}$$

Transformación a galones:

$$\frac{5,500 \text{ lbs ác. benzoico}}{71.81 \text{ lbs/ft}^3} \times \frac{7.48 \text{ gal}}{\text{ft}^3} = 572.9 \text{ galones}$$

11.1. Cálculo del área del filtro:

Se utiliza un filtro rotatorio de vacío. La idea de -- aplicar vacío en el pastel formado, es debido a las especificaciones requeridas de humedad del ácido benzoico en el -- mercado.

$$t = \frac{C_u V^2}{A^2 (-\Delta P_c)}$$

Donde:

C_u = Constante de filtración a porosidad y presión -- constante (Proporcionado por la industria)

V = Volumen del filtrado

A = Area del medio filtrante

t = Tiempo de filtración

ΔP_c = Presión del filtrado a través del pastel

$$A = \frac{C_u V^2}{t (-\Delta P_c)}$$

Sustituyendo:

$$A = \frac{0.353 (30,250,000)}{180 (40)} = 40 \text{ in}^2$$

- CAPITULO V -

V. MERCADO DEL ACIDO BENZOICO.

A. Oferta:

1. Compañías productoras, localización de las plantas y capacidades.

El único productor existente en México es la Compañía Salicilatos de México (referencias en bibliografía). La planta se encuentra localizada en la Ciudad de México, con una capacidad instalada de 1,000 toneladas anuales.

2. Producción.

De la producción de ácido benzoico no se encuentran datos reales ni al contactar directamente a la Compañía-Salicilatos de México, ni por otro medio informativo. Como Salicilatos de México es el único productor existente, con una capacidad instalada de producción de 1,000 tons/año se estima para este estudio que se ha mantenido constante la producción en un 80%, ó sea 800 tons/año.

3. Importación.

El comportamiento de la importación de ácido benzoico se ha mostrado irregular, no siguiendo ningún patrón -

de crecimiento. En los años 1974 y 1976 se tuvo un incremento bastante fuerte en su importación. Esto pudo ser causado por el pánico mundial sobre el incremento de los precios de los productos químicos

Tabla de importaciones en el periodo 1970-1979:

Año	Toneladas/año
1970	371.0
1971	243.0
1972	116.0
1973	149.0
1974	507.0
1975	61.4
1976	476.1
1977	48.8
1978	538.5
1979	649.3

La importación del ácido benzoico no requiere permiso por parte de la Secretaría de Comercio.

Su importación en los últimos tres años fué principalmente de los Estados Unidos de América, República Federal Alemana y Canadá.

B. Demanda.

1. Exportación.

No existen datos de exportación de ácido benzoico - en la literatura revisada (referencia No. 2)

2. Consumo aparente.

El consumo aparente se ha comportado irregularmente en los últimos años. Como no se tiene exportación de -- ácido benzoico, solo depende de la importación y de la - producción, la cual se considere constante a 800 tons/año.

El consumo aparente que se tiene en el año de 1979 es de 1,449.3 tons, con la siguiente distribución determinada en base a las compañías consumidoras.

El precio de venta actual del ácido benzoico es de \$55.00/kg (dato proporcionado por Salicilatos de México).

Aplicación	1979	
	Tons/año	%
Cloruro de benzofilo	579.7	40
Benzoato de sodio	298.9	20
Plastificantes	217.4	15
Cumeno	144.9	10
Resinas alquídicas	115.9	8
* Otros	<u>92.5</u>	<u>7</u>
TOTAL	1,449.3	100

* Otros incluye manufactura de butil benzoatos y herbicidas principalmente.

b. Aplicaciones

Cloruro de benzoilo

El ácido benzoico se usa como materia -
en la producción del cloruro de benzoilo, el -
cual es utilizado para la fabricación del pe-
róxido de benzoi, que se usa como cataliza -
dor en la polimerización del cloruro de vini-
lo, estireno y acetato de vinilo.

Benzoato de sodio

El ácido benzoico actua como materie pri
ma en la obtención del benzoato de sodio, el
cual se aplica como:

Preservativo en comida.

Preservativo en alimentos enlatados.

Preservativo de cosméticos.

Inhibidor de corrosión.

Intermediario en tintes.

Medicinal.

Para obtener benzoquinona, usada en la -
manufactura de resinas.

Plastificantes de dibenzoato de glicol.

El ácido benzoico actúa como materia prima para la obtención del dibenzoato de glicol, el cual se emplea en la estabilización de las resinas vinílicas.

Cumeno.

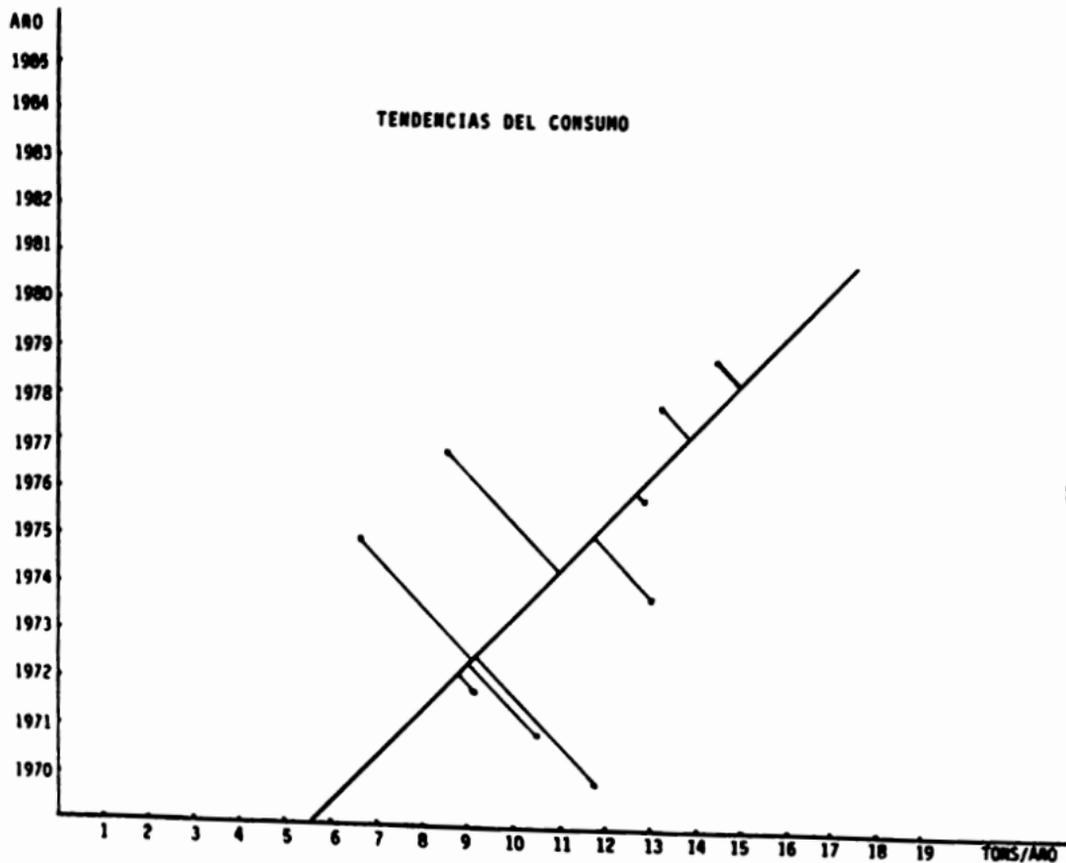
En esta aplicación el ácido benzoico actúa como materia prima para la obtención del fenil, a partir del cual se obtiene el cumeno.

Resinas alquídicas.

El ácido benzoico se utiliza como intermediario en la obtención de las resinas alquídicas.

Otros usos.

En la manufactura de butilbenzoatos y herbicidas principalmente.



C. Tendencias del mercado.

1. Crecimiento del mercado.

El ácido benzoico ha tenido históricamente un crecimiento irregular, ésto es causado porque solo existe un productor que cubre parcialmente la demanda nacional y por lo tanto se tienen que hacer importaciones.

La linearización de los valores del consumo aparente muestran un crecimiento anual del 8 %.

En la siguiente tabla se muestra la proyección del consumo de ácido benzoico en México.

Año	Tons/año
1979	1449.3
1980	1564.0
1981	1689.0
1982	1824.0
1983	1969.0
1984	2126.0
1985	2296.0
1986	2479.0
1987	2677.0
1988	2891.1

D. Tendencias del precio:

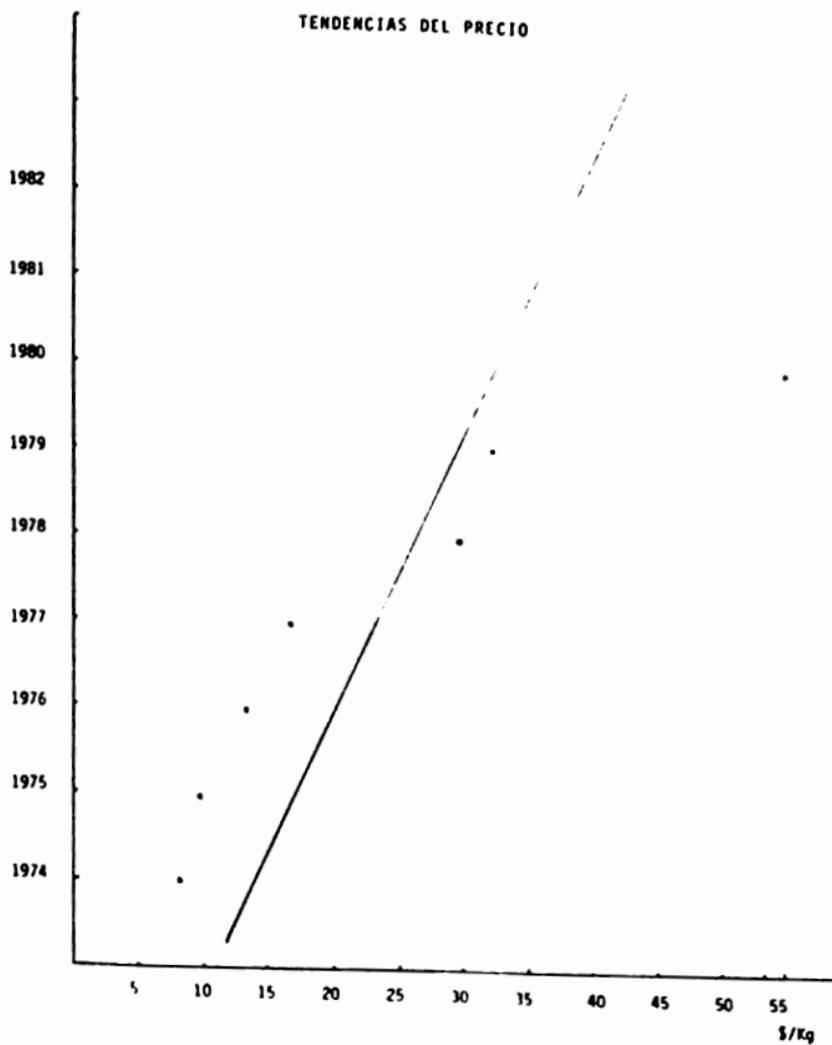
El precio por kg de ácido benzoico ha tenido un in cre me nto notable en los últimos años, en base a la linea riza ción de los precios por medio de mínimos cuadrados - se encuentra que el precio del ácido benzoico proyecta - un incremento del 13.2% anual.

A continuación se muestran los precios del ácido - benzoico de 1974 a 1984.

Se estima que los precios del ácido benzoico son - función del incremento del precio de la materia prima - (tolueno), ésto es, estarán en proporción directa del - incremento sufrido por los derivados del petróleo.

Año	Precio (\$/kg)
1974	8.50
1975	9.80
1976	13.80
1977	17.00
1978	32.50
1979	43.60
1980	55.00
1981	71.50
1982	92.95
1983	120.85
1984	157.10

TENDENCIAS DEL PRECIO



E. Empaques, fletes y especificaciones:

1. Empaque. El ácido benzoico se empaqueta en sacos de papel Kraft con forro de polietileno, con una capacidad de 50 kgs y en tambores de 100 kgs.

2. Fletes. El costo por tonelada de fletes del ácido benzoico a los diferentes centros de consumo son los siguientes:

Destino	Cuota Ps. \$/Ton
Toluca	200
Monterrey	500
Zacapu	400
Puebla	350
Laredo	800
Jalisco	500
Tamaulipas	400
Coahuila	700

Esta información se obtuvo en comunicación directa con los transportistas.

3. Especificaciones:

Composición	USP	Grado Técnico
Contenido mínimo	99.3%	99.3%
Color	Bianco	Bianco a la luz
Rango de fusión	249.8-253.4 °F	249.8-253.4 °F
Presentación	Polvo	Polvo
Residuos	0.05 máx.	

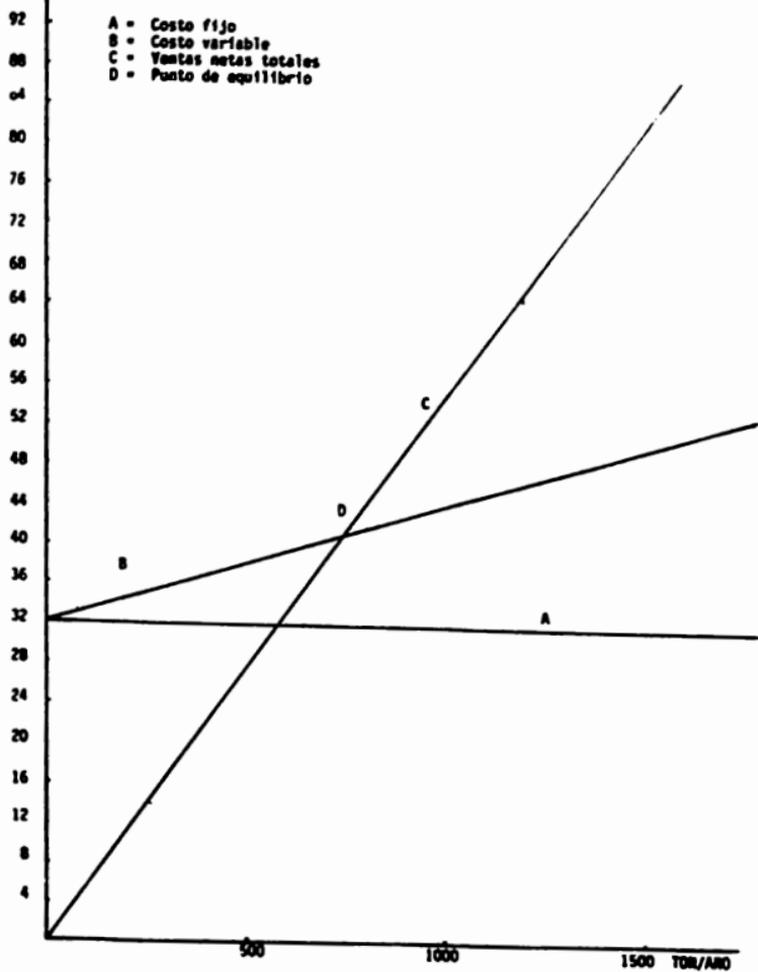
F. Determinación de la fecha de operación de la planta.

La fecha de operación de la planta se determina obteniendo el punto de equilibrio (equilibrio obtenido del -- costo fijo, variable y las ventas netas totales).

Para este proceso se obtiene con una producción del 60%, o sea de 889 ton/año. Como existe una producción actual por Salicilatos de México estimada de 800 tons/año, la planta debe empezar operaciones cuando la demanda sea de $\hat{1}$ 1,689 ton/año. Revisando la proyección del consumo, la planta debe de iniciar en el año de 1981.

MILLONES DE \$

- 89 -



- CAPITULO VI -

VI. EVALUACION ECONOMICA.

El capital total de inversión está compuesto por --
dos capitales de inversión, que son:

Capital de inversión fija y

Capital de trabajo

El capital total de inversión se puede definir como el costo total de instalaciones del proceso, servicios - auxiliares e ingeniería involucrada en la creación de la nueva planta y edificios.

Para el desarrollo del costo actual del equipo bási-
co se contó con los siguientes proveedores:

- a. Proveedores Técnicos, S.A. de C.V.
- b. Worthington, S.A.
- c. Swecomex, S.A.
- d. Beggandorefer, S.A.
- e. Rooter Corp.
- f. Metaluar, S.A.

En las cotizaciones obtenidas donde el precio no --
checaba con la capacidad del equipo, se realizó la sí---
guiente corrección:

$$E_b = E_a \left(\frac{C_b}{C_a} \right)^x$$

E_b = Costo de equipo b

E_a = Costo de equipo a

C_b = Capacidad del equipo b

C_a = Capacidad del equipo a

x = Exponente del costo de capacidad (.6)
en general

A. Inversión fija y costo de producción:

A.1. Inversión fija (Proveedores):

EQUIPO	PRECIO EN MILES DE PESOS	OBSERVACIONES
1. Reactor	900.0	677.14 galones
2. Bomba de enfriamiento del reactor	2.8	9,313.33 lbs/hr acero al carbón
3. Bomba de calentamiento del reactor (Líquido térmico)	36.0	13,217.34 lbs/hr acero al carbón
4. Mezclador	9,000.0	7,401.25 galones A I 316
5. Enfriador de ácido benzoico	250.0	580,015.04 BTU/hr
6. Bomba de enfriamiento del ácido benzoico	8.0	7,639.12 lb/hr
7. Enfriador de tolueno	184.0	380,353 BTU/hr
8. Bomba de enfriamiento de tolueno	5.4	4,868.8 lbs/hr acero al carbón
9. Tanque de almacenamiento de tolueno	138.6	503.45 galones acero al carbón
10. Bomba de almacenamiento de tolueno	90.0	4,787.95 lbs/hr A I 316
11. Planta tratamiento de aguas	1,000.0	Aguas clarificadas y vapor de B.P.
12. Bomba reactivos	36.0	4,787.95 lb/hr A I 316
13. Filtro	396.0	572 galones
Costo total de equipo	12,046.8	
1. Costo total de equipo	12,046.8	
2. Tuberías, válvulas y accesorios	4,216.4	35% costo equipo
3. Instrumentación	2,047.9	17% costo equipo
4. Equipo y material eléctrico	2,409.4	20% costo equipo
5. Aislamiento	602.3	5 % costo equipo

Sub-Total I	9,276.04	
6. Instalación mecánica	4,065.8	25% de 1 y 2
7. Instalación eléctrica	963.8	40% de 4
Sub-Total II	5,029.6	
8. Equipo laboratorio	500.0	Estimado
9. Equipo auxiliar	1,200.0	Estimado
10. Equipo seguridad	400.0	Estimado
11. Taller mantenimiento	600.0	Estimado
Sub-Total III	2,700.0	
12. Terreno y acondicionamiento	2,500.0	Estimado
13. Obra civil	7,000.0	Estimado
Costo físico de la planta	<u>26,505.64</u>	
14. Ingeniería	1,722.86	5.5% costo físico
Costo directo de planta	28,228.5	
Contingencias	<u>3,105.1</u>	11% costo directo
Capital Fijo	31,333.6	

A.2. Costo de producción.

El costo de producción se realiza para la manufactura de 500, 1,000 y 1,500 tons/año, el cual ayuda a determinar posteriormente la relación entre capacidad de producción y rentabilidad de la inversión. Dependiendo de la producción, será el número de turnos trabajados. Para 500 tons un turno, para 1,000 tons dos turnos y para --- 1,500 tons cuatro turnos.

1. Materia prima.

Se obtuvo cotización de Petroleos Mexicanos y compañías que venden el catalizador.

Materia prima	Consumo kg/kg ác. benzoico	Precio \$/kg	Consumo kg/ton ác. benzoico	Ac. benzoico costo \$/ton
Tolueno	0.87	6.50	870.0	5,655.00
Aire (oxígeno)	0.412	No cuesta	412.0	--
Naftalato de cobalto (Catalizador)	0.00045	299.00	1.0	299.00
				<hr/> 5,954.00

2. Servicios.

	Consumo ton ác. benzoico	Precio Unitario \$	Costo
Diesel	20.0 lts	0.65	13.00
Agua de proceso	10.0 m ³	13.00	130.00
Agua municipal	5.0 m ³	4.40	22.00
Electricidad	500 kw-hr	8.78	390.00
Líquido térmico	8 lts	200.00	1,600.00
			<hr/> 2,155.00

3. Mano de obra directa.

Para efectos de este estudio se toma un estandar-
de salarios, esto es \$ 300.00/día operador, y de 200.00
por día para el ayudante.

Se toma como base el salario mínimo en el valle--
de México que es de \$ 166.00 por día, además el cálculo
se basa en doce meses y un 30% más por prestaciones
e impuestos.

Personal	Número	\$/Día	Miles \$/Año
Operador	1	300.00	109.50
Ayudante	2	200.00	146.00
			<u>255.50</u>
30% más por prestaciones e impuestos			332.15

Para una producción de 1000. Tons/año se necesi-
ta trabajar dos turnos.

Operador	2	300.00	219.00
Ayudante	4	200.00	292.00
			<u>511.00</u>
30% más por prestaciones e impuestos			664.30

Para producir 1500 tons/año se necesita trabajar los cuatro turnos:

Personal	Número	\$/día	Miles \$/año
Operador	4	300.00	438.00
Ayudante	8	200.00	584.00
			<u>1,022.00</u>
30% más por prestaciones e impuestos			306.00
Total			1,328.00

4. Supervisión.

En base a 1500 ton/año se tiene:

Personal	Número	Miles \$/mes	Miles \$/año
Gerente de planta	1	40.00	480.00
Jefe de laboratorio	2	22.00	528.00
Jefe de turno	4	25.00	1,200.00
Eléctrico	2	12.00	288.00
Mecánico	2	12.00	288.00
Secretaria	2	12.00	288.00
Ayudante	1	6.00	72.00
Velador	1	7.00	84.00
Almacenista	2	12.00	288.00
			<u>3,516.00</u>
30% más por prestaciones e impuestos			1,054.00
Total			4,570.00

Para una producción de 1000 Tons/Año se estima que es suficiente con dos jefes de turno y para una producción de 500 Tons/Año tan solo un jefe de turno.

	Miles de pesos		
Capacidad en Tons/Año	500	1000	1500
Materias primas	2,997.00	5,954.00	8,931.00
Mano de obra	322.15	511.00	1,328.00
Servicios	1,077.00	2,155.00	3,232.60
Supervisión	<u>1,560.00</u>	<u>3,260.00</u>	<u>4,570.00</u>
Costo producción	5,936.65	11,880.00	18,061.00

B. Capital de trabajo.

Es el dinero necesario para las operaciones normales de la empresa. Se calcula para distintos precios de venta.

Los cálculos presentados en seguida son realizados para el precio actual del ácido benzoico, que son de 55.00\$/kg (información directa con la industria).

	Miles de pesos		
Capacidad tons/año	500	1000	1500
Inventario de materias primas (un mes de producción)	235.62	471.25	706.88
Producto terminado (un mes de producto al costo de manufactura)	1,145.83	2,291.67	3,437.00

Cuentas por cobrar (1.5 mes de venta)	3,437.50	6,875.00	10,312.50
Caja y banco (1.5% sobre ventas)	515.62	1,031.25	1,546.87
Capital de trabajo	5,334.68	10,669.17	16,003.75

C. Gastos generales.

Son los gastos que no son erogación de una función directa de la producción, son diversos gastos realizados por las funciones de la compañía.

	Miles de pesos		
Capacidad tons/año	500	1000	1500
Gastos de distribución (1% sobre ventas)	275.00	550.00	825.00
Gastos de ventas (3% ventas)	825.00	1,650.00	2,475.00
Gastos de administración (3% ventas)	825.00	1,650.00	2,475.00
Regalfas (2% ventas)	550.00	1,100.00	1,650.00
Financiamiento (15 millones al 24% anual)	3,675.00	3,675.00	3,675.00
Gastos generales	6,150.00	8,625.00	11,100.00

D. Modelo de resultados.

La depreciación es determinada por el método de línea directa, con un término de la vida útil del equipo en un valor de rescate de cero.

	Miles de pesos	
	Valor	Costo anual
Equipo de proceso (a 11 años)	24,022.84	2,402.28
Edificios (a 33 años)	9,500.00	287.88
Depreciación		2,609.16
Ingeniería (a 20 años)	1,722.86	86.14
Contingencias (a 20 años)	3,105.10	155.26
Amortización		241.40

Se calcula el modelo el resultados para los precios de 55.00, 50.00 y 45.00 \$/kg de ácido benzoico.

Modelo de resultados para un precio de venta de \$55.00/kg.

	Miles de pesos		
Capacidad tons/año	500	1000	1500
Inversión fija	31,333.60	31,333.60	31,333.60
Capital de trabajo	5,334.58	10,669.17	16,003.75
Inversión total	36,668.18	42,002.77	47,337.35
Ventas netas totales	27,500.00	55,000.00	82,500.00
Costo de producción	5,936.65	11,880.00	18,061.50
Gastos generales	6,150.00	8,625.00	11,100.00
Utilidad bruta	15,413.35	34,495.00	53,338.50

Depreciación y amortización	2,609.16	2,609.16	2,609.16
Utilidad antes del impuesto	12,804.19	31,885.84	30,729.34
Reparto de utilidades e impuestos	6,402.09	15,942.92	25,364.67
Utilidad neta	6,402.09	15,942.92	25,364.37
R.O.I. = $\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversión total}} \times 100$			
R.O.I. =	17.0	37.0	53.0

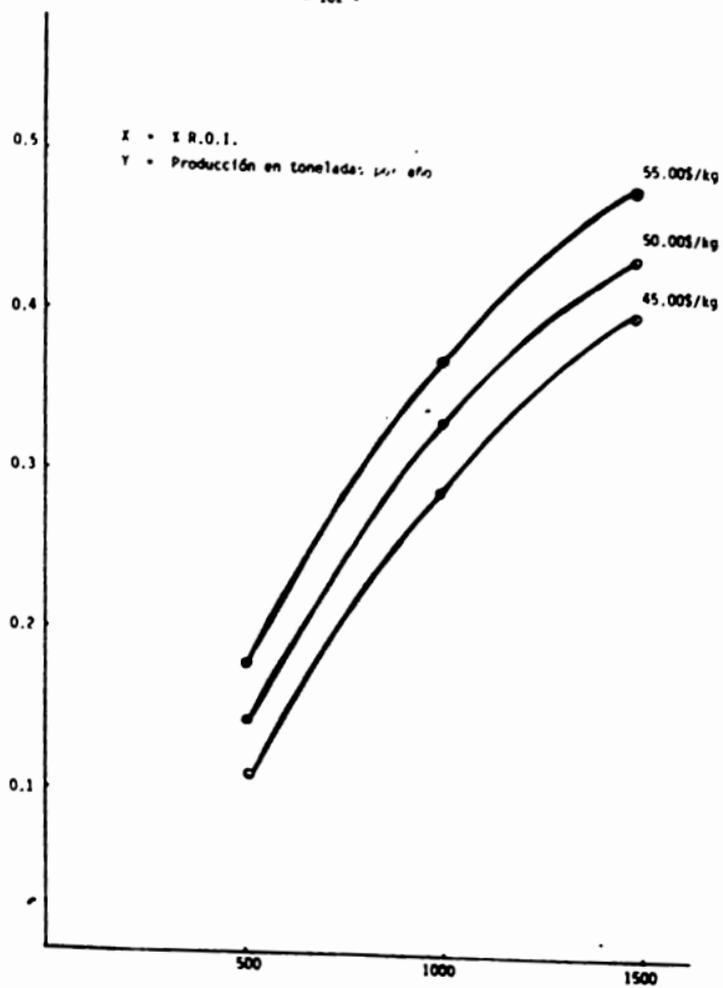
Estado de resultados para un precio de \$50.00/kg

Miles de pesos

Capacidad tons/año	500	1000	1500
Inversión fija	31,333.60	31,333.60	31,333.60
Capital de trabajo	4,975.20	9,950.00	14,925.63
Inversión total	36,308.80	41,283.60	46,259.23
Ventas netas totales	25,000.00	50,000.00	75,000.00
Costo de producción	5,936.65	11,880.00	18,061.50
Gastos generales	5,975.00	8,175.00	10,470.45
Utilidad bruta	13,138.35	29,945.00	46,968.05
Depreciación y amortización	2,609.16	2,609.16	2,609.16
Utilidad antes del impuesto	10,529.19	27,335.84	43,858.89
Reparto de utilidades e impuestos	5,264.59	13,667.92	21,929.44
Utilidad neta	5,264.59	13,667.92	21,929.44
% R.O.I.	14.0	33.0	47.0

Estado de resultados para un precio de \$45.00/kg

	Miles de pesos		
Capacidad ton/año	500	1000	1500
Inversión fija	31,333.60	31,333.60	31,333.60
Capital de trabajo	4,606.01	9,231.67	13,847.51
Inversión total	35,939.61	40,565.27	45,181.11
Ventas netas totales	22,500.00	45,000.00	67,500.00
Costo de producción	5,936.65	11,880.00	18,061.50
Gastos generales	5,700.00	7,725.00	9,790.90
Utilidad bruta	10,863.35	25,395.00	39,647.60
Depreciación y amortización	2,609.16	2,609.16	2,609.16
Utilidad antes del impuesto	8,254.19	22,785.84	37,038.44
Reparto de utilidades e impuesto	4,127.09	11,392.92	18,519.22
Utilidad neta	4,127.09	11,392.92	18,519.22
I R.O.I.	11.0	28.0	40.0



E. Flujo de caja descontado:

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	TOTAL	PROMEDIO
Capacidad (Tons)	809	1,025	1,169	1,326	1,500	1,500	1,600	1,500	1,500	1,500		
1. Inversión fija	31,333										31,333	
2. Efectivo	733	112	118	129	143						1,235	
3. Cuentas por cobrar	6,112	935	990	1,079	1,197						10,313	
4. Inventario	419	64	68	74	82						779	
5. Capital de trabajo	7,259	1,111	1,176	1,282	1,422						13,672	
6. Inversión total	38,992	1,111	1,176	1,282	1,422						42,683	39,590
7. Ventas netas totales	48,885	56,375	64,295	72,930	82,580	82,500	82,500	82,500	82,500	82,500	737,495	73,749
8. Costo de producción	10,661	12,177	14,076	15,967	18,062	18,062	18,062	18,062	18,062	18,062	161,153	16,115
9. Gastos de distribución	480	564	643	729	825	825	825	825	825	825	2,425	
10. Gastos de ventas	1,467	1,692	1,929	2,187	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	22,125	
11. Gastos administrativos	1,467	1,692	1,929	2,187	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	22,125	
12. Gastos de financiamiento	3,675	3,675	3,675	3,675	3,675						18,375	
13. Regalías	978	1,128	1,286	1,458	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	14,750	
14. Costo de operación total	18,637	20,928	23,538	26,203	29,162	25,487	25,487	25,487	25,487	25,487	245,903	24,590
15. Utilidad bruta	30,528	35,447	40,757	46,727	53,338	57,013	57,013	57,013	57,013	57,013	491,862	
16. Depreciación y amortización	2,609	2,609	2,609	2,609	2,609	3,609	2,609	2,609	2,609	2,609	26,090	
17. Utilidad antes de impuestos	27,919	32,838	38,148	44,118	50,729	54,404	54,404	54,404	54,404	54,404	465,772	
18. Impuesto y reparto de util.	13,960	16,419	19,074	22,059	25,365	27,202	27,202	27,202	27,202	27,202	232,887	
19. Utilidad después de impuestos	13,960	16,419	19,074	22,059	25,365	27,202	27,202	27,202	27,202	27,202	232,887	23,289
20. Ingreso efectivo anual	16,569	19,028	21,683	24,668	27,976	29,811	29,811	29,811	29,811	29,811	109,924	10,922

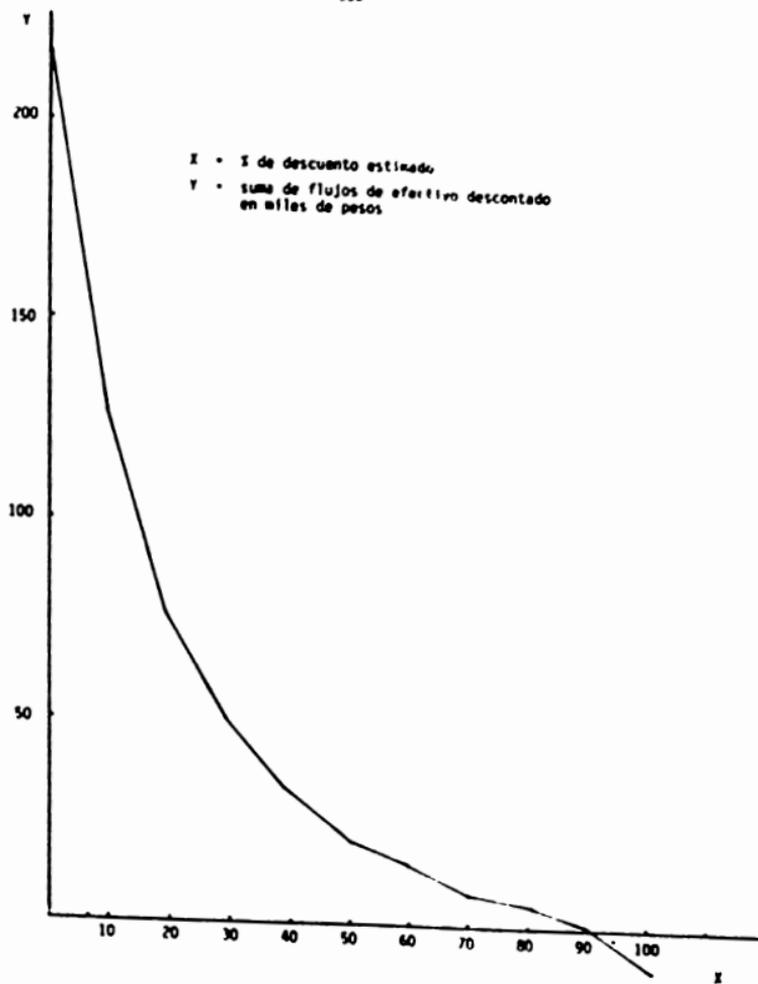
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	TOTAL	PROMEDIO
Capacidad (Tons)	889	1,025	1,169	1,326	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500		
21. Flujo efectivo anual	(22,023)	17,917	20,507	23,386	26,554	29,811	29,811	29,811	29,811	29,811	215,396	21,539
22. Factor descontado al 10%	1.000	.909	.826	.751	.683	.621	.564	.513	.467	.424		
23. Valor presente anual	(22,023)	16,287	16,939	17,563	18,136	18,512	16,813	15,293	13,972	12,640		
24. Valor presente acumulativo	(22,023)	(5,736)	11,203	28,766	46,902	65,414	82,227	97,520	111,442	124,082		

Las cantidades están en miles de pesos

Flujo efectivo anual	Descuento 10%		Descuento 20%		Descuento 30%		Descuento 40%		Descuento 50%	
	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad
1981 (22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)
1982 17,917	0.909	16,287	0.833	14,925	0.769	13,778	0.714	12,793	0.666	11,933
1983 20,507	0.826	16,939	0.694	14,232	0.591	12,120	0.510	10,459	0.444	9,105
1984 23,386	0.751	17,563	0.578	13,517	0.454	10,617	0.364	8,513	0.296	6,922
1985 26,554	0.683	18,136	0.481	12,772	0.349	9,267	0.260	6,904	0.193	5,125
1986 29,811	0.621	18,513	0.400	11,924	0.268	7,989	0.185	5,515	0.129	3,846
1987 29,811	0.564	16,813	0.333	9,927	0.206	6,141	0.132	3,935	0.086	2,564
1988 29,811	0.513	15,293	0.277	8,258	0.158	4,710	0.094	2,802	0.057	1,699
1989 29,811	0.467	13,922	0.230	6,857	0.121	3,607	0.067	1,997	0.038	1,133
1990 29,811	0.424	12,640	0.191	5,695	0.093	2,772	0.048	1,431	0.025	745
<u>215,396</u>		<u>124,083</u>		<u>76,083</u>		<u>48,978</u>		<u>32,126</u>		<u>21,049</u>

Flujo efectivo anual	Descuento 60%		Descuento 70%		Descuento 80%		Descuento 90%		Descuento 95%	
	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad	Factor	Cantidad
1981 (22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)	1.000	(22,023)
1982 17,917	0.625	11,198	0.588	10,535	0.556	9,962	0.556	9,424	0.512	9,173
1983 20,507	0.390	7,998	0.345	7,075	0.309	6,337	0.276	5,665	0.262	5,372
1984 23,386	0.244	5,706	0.203	4,747	0.172	4,022	0.145	3,390	0.134	3,147
1985 26,554	0.153	4,063	0.119	3,160	0.096	2,549	0.076	2,018	0.068	1,805
1986 29,811	0.095	2,862	0.070	2,087	0.053	1,580	0.040	1,192	0.034	1,039
1987 29,811	0.060	1,788	0.041	1,222	0.029	865	0.020	596	0.017	506
1988 29,811	0.038	1,133	0.024	715	0.016	477	0.010	298	0.008	238
1989 29,811	0.023	686	0.014	417	0.009	268	0.005	149	0.004	119
1990 29,811	0.014	417	0.008	238	0.005	149	0.002	59	0.001	22
<u>215,396</u>		<u>13,828</u>		<u>8,173</u>		<u>4,186</u>		<u>768</u>		<u>(531)</u>

Determinación del valor real de la rentabilidad del proyecto: Se obtiene encontrando la tasa de interés que iguale el valor presente del proyecto a cero, se grafica el valor presente contra la tasa de interés



- C A P I T U L O V I I -

VII. CONSIDERACION FINAL.

A. Resumen.

El ácido benzoico es producido a partir de tolueno, el medio oxidante es el oxígeno contenido en aire.

El tolueno es obtenido a partir de derivados del petróleo.

Los campos de aplicación del ácido benzoico son para la producción del cloruro de benzilo, éste a su vez para la producción del peróxido de benzilo, el cual es usado como iniciador en la manufactura del cloruro de vinilo y acrílicos. Además, otro campo importante es para la producción de benzoato de sodio, que se usa como preservativo de comida, alimentos enlatados, cosméticos y preparaciones farmacéuticas.

A la fecha solo un productor existe en México, con una producción promedio de 800 tons/año. Su precio oscila entre 50.00 y 55.00\$/kg en el mercado nacional.

Basados sobre el estudio del mercado realizado, se llegó a la consideración de una planta con capacidad de diseño para 1985 de 1500 tons/año.

Entre los costos estimados se encuentran las siguientes cantidades:

	miles de pesos
Inversión fija	31,333.60
Capital de trabajo para la producción total	16,003.75

El proyecto iniciará operaciones en 1981 con una capacidad de producción de 889 tons/año, con una recuperación de capital en cuatro años.

Se utilizará un financiamiento de 15 millones de pesos pagables en cinco años con un interés --- anual del 24%.

Para determinar la sensibilidad del proyecto se obtiene una gráfica donde se relacionan los --- cálculos a valor presente del retorno sobre la inversión, aplicando el proyecto a distintas tasas - de descuento durante un período de diez años.

La máxima tasa interna de retorno se encontró al aplicar una tasa de descuento aproximadamente - de 9%.

B. Conclusiones.

1. Cada nuevo proceso desarrollado en México incrementa notablemente fuentes de trabajo, que viene a dar una ayuda al desempleo actual, además que incrementará el desarrollo tecnológico actual y se logra cubrir la demanda nacional.

2. El proceso a desarrollar es de tipo sencillo, y las materias primas utilizadas en el mismo son de fácil localización (Pemex), además de que se cuenta con una producción actual de tolueno alta, se tiene en puerta un proyecto a corto plazo para producir mayor cantidad de tolueno por parte de Petroleos Mexicanos.

3. El estudio de mercado viene a ayudar a determinar la capacidad inicial de operación que será de 889 toneladas por año, con un incremento promedio del 8% anual, alcanzando la producción total de 1500 toneladas anuales en 1985.

4. Se tiene una inversión promedio de ----- \$42,000,000.00, lo cual producirá un total de ----- \$34,000,000.00 (promedio anual), tomando un ingreso

promedio de \$16,000,000.00, lo que implica que la inversión total será recuperada en cuatro años.

5. Estos cálculos fueron efectuados durante el año de 1980, por lo cual sólo se tenían datos hasta 1979. Se estima que si en algún momento se tiene incremento en el costo de la materia prima, también se tendrá en el producto terminado, de esta manera este estudio no será afectado notablemente.

6. De acuerdo a los resultados económicos, a la disponibilidad de materia prima, así como de la tecnología para desarrollarlo, se concluye que este ante-proyecto es de interés para una futura realización en México.

C. Recomendaciones.

Si se desea realizar este proyecto, será necesario introducirse a la Ingeniería en detalle, logrando el complemento de este estudio.

A N E X O I

1. Título: Diarilicetonas
Referencia: E.J. Peill and M. Kosmia (Compañía Química de Monsanto) U.S. 2,879, 279, Marzo 24, 1959. Chemical Abstracts 54, 1456 d.
2. Título: Composición de Modelaje de Tapas
Referencia: Frack W. Less Eugene C. Rock and Jay C. Searer, Compañía Química Hooker, U.S. 2,912, 401, Nov. 10, 1959. Chemical Abstracts 54, 3 150 b.
3. Título: Inhibidor de Corrosión Fase Vapor
Referencia: Chemical Abstracts 54, 3 153 h.
4. Título: Anclator Hidroxil y alcox. Aluminio y Sus Pro - ductos de Condensación.
Referencia: Chemical Abstracts 54, 3 153 h.
5. Título: Fibras Viscosas, Películas y Disminución de los Valores de Dilatación.
6. Título: 2 Alcil-1 Fenilhidrazina.
Referencia: Chemical Abstracts 54, 5 571 a.
7. Título: Modificación de Alkyd Resinas con Acido Benzoico
Referencia: Chemical Abstracts 54, 6 195 c
8. Título: Decoloración de Materiales Fibrosos de Polies - tireno de Alto Peso Molecular.
Referencia: Chemical Abstracts 54, 165 a
9. Título: Obtener los Efectos del Benzoato de Amonio como - Anticorrosivo.
Referencia: Chemical Abstracts 54, 8 562 i , 55, 16 389 d.

10. Título: Composición del Gas Resultante
Referencia: Chemical Abstracts 54, 9 297 e.
11. Título: Productos de Decoloración de la Fibra del Etilen-
glicol Tereftalato, Polímeros con Esteres de Áci-
do Benzoico.
12. Título: Efecto de Algunas Sales sobre la Vulcanización del
Hule
Referencia: Chemical Abstracts 54, 10 372 i.
13. Título: Reducción de la Tendencia del Hule a hacer Cortes.
Referencia: Chemical Abstracts 54, 11 533 d.
14. Título: Limpieza y Formación de Capas Fosfato sobre Hierro
o Superficies de Zinc en un Peso
Referencia: Chemical Abstracts 54, 12968 b.
15. Título: Resistencia al Calor, Compuesto de Hule con Silicón
de Alta Tensión
Referencia: Chemical Abstracts 54, 13 714 b.
16. Título: Novolac
Referencia: Chemical Abstracts 54, 13 477 c.
17. Título: Estudio Físicoquímico de la Influencia del Alcance
en la Decoloración de Fibras Poliéster
18. Título: Estudio del Mecanismo de Acción Alcanzando en Deco-
loración de Fibras Poliéster con Teñidos Dispersos
Referencia: Chemical Abstracts 54, 14 696 h.

19. Título: Polimerización de Nitríidos Diclorofosfónicos
Referencia: Chemical Abstracts 54, 14 754 f.
20. Título: Estabilización de las Resinas Perfumadas
Referencia: Chemical Abstracts 54, 15 846 b.
21. Título: Cuartos o Espacios Desinfectados
Referencia: Chemical Abstracts 54, 15 851 d.
22. Título: La Aceleración de la Cura de Amiras por Epoxiresinas
Referencia: Chemical Abstracts 54, 16 889 b.
23. Título: Esteres Hidrazinos
Referencia: Chemical Abstracts 54, 18 326 h.
24. Título: Sustituto Benzaldehído Benzoi1 Hidrazona
Referencia: Chemical Abstracts 54, 19 599 a.
25. Título: Preparación de Nuevos Tipos de Polímeros por Reacción de Polirecombinación
Referencia: Chemical Abstracts 54, 20 321 f.
26. Título: Algunas Reacciones de Sales Férricas en Polimerizaciones de Vinil
Referencia: Chemical Abstracts 54, 21 842 i.
27. Título: Aumentando la Duración de la Resina
Referencia: Chemical Abstracts 54, 23 357 g.
28. Título: Alta Polimerización
Referencia: Chemical Abstracts 54, 23 430 h.

29. Título: Insecticida
Referencia: Chemical Abstracts 54, 25 544 f.
30. Título: Aditivo para Combustible Mejorando la Compresión
en Motores de Combustión Interna
Referencia: Chemical Abstracts 54, 25 762 f.
31. Título: Aditivo para Reducción de Depósitos de Máquinas
Referencia: Chemical Abstracts 54, 25 762 f.
32. Título: Para Aceites No Corrosivos
Referencia: Chemical Abstracts 54, 25 788 a.
33. Título: Algunos Aspectos de Portadores de Coloración
Referencia: Chemical Abstracts 55, 4 966 f.
34. Título: Esteres de Barnices
Referencia: Chemical Abstracts 55, 4 909 a.
35. Título: Catalizador para el Volúmen de Polimerización del
Acabado del Cloruro de Fosfonitrilo
Referencia: Chemical Abstracts 55, 10 947 b.
36. Título: Estabilidad de los Compuestos de Polivinilo
Referencia: Chemical Abstracts 55, 11 934 a.
37. Título: Soluciones de Tereftalato de Polietileno
Referencia: Chemical Abstracts 57, 1 075 c.
38. Título: Efecto de Inhibidores sobre la Cinética y Alta
Estabilidad de Plásticos de Cloruro de Polivinilo
Referencia: Chemical Abstracts 57, 10 030 f.

39. Título: Carboxilación del Acido Ftálico
Referencia: Chemical Abstracts 57, 12 389 a.

40. Título: Prevención del Moho en Material Empacado
Referencia: Chemical Abstracts 58, 1 638 g.

41. Título: Lubricantes de Polifenil Ester Estables al Color
Referencia: Chemical Abstracts 59 2 574 c.

B I B L I O G R A F I A

1. Anuario de la Economía Mexicana
Grupo Editorial Expansión (1978)
2. Anuario General de Importaciones
Secretaría de Comercio (1968-1979)
3. Anuario de la Industria Química Mexicana
Asociación Nacional de la Industria Química (1978)
4. Velsicol Chemical Corp. (1965).
Boletín No. 1164.
5. Sperry D.R. - Principles of Filtrations: "I"
6. Tecnología Disponible
Chemical Abstracts (1962-1978)
7. Tesis realizada en 1958
Obtención del Ácido Benzoico a Partir de la Oxidación de Tolueno
8. Goshorn R.H. - Degenerating. E.F., y Tetrault P.A.
Ind. Eng. Chemical. 30,646 (1938)
9. Terroine, E.F., y Boy, G. Arch. Intern Pharmacodynamie.
63, 300 (1939)

10. Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe Crane Engineering Division.
11. Principios de Operaciones Unitarias
Alan S. Foust (1970)
12. Chemical Engineers Handbook
Fifth Edition
13. Procesos de Transferencia de Calor
Donald Q. Kern (1974)
14. Ludwig E.P.
Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Vol. I y III. Gulf Publishing Co, Houston (1974)
15. Patente Japonesa 4358r, Agosto 1975.
Japan Kokai 75, 108 y 231
Mitsubishi Chemical Industries Co., Ltd.
16. Patente China 20600x, Mayo 1975
Tr. Uses Nauch-Issled, Proekt Inst. Monzmeroo
1972 2(2), 167-70
Perin Yu. I., Valieva R.A. Klochkova M.R.
17. Patente Japonesa 21893z, Mayo 1969
Japan 6905, 860
Distillation Apparatus Manuf. Co., Ltd.
18. Patente Indu 135826 c, Abril 1973
Dept. Chemical Eng. Indian Inst. Technol.
Kharagpur, India

19. Patente de Estados Unidos 1645180 (Octubre 1927)
C. Conover (para Monsanto Chemical Works)
Popper H.A.
20. Modern Cost Engineering Technic
1a. Edición Mac Graw-Hill Book Co., Inc.
21. Chemical Economics Handbook
Standford Research Institute, Menlo Park,
California (1975)
22. Morrison, R.T. and Boyd, R.H.
Organic Chemistry
Allyn and Pacon Inc. Boston 1962

ESTUDIO PRELIMINAR TECNICO-ECONOMICO PARA LA PRODUCCION
DE ACIDO BENZOICO A PARTIR DE LA OXIDACION DE TOLUENO

	Pág.
I. INTRODUCCION.	
A. Importancia del ácido benzoico	1
B. Objetivo de la tesis	2
II. DESCRIPCION Y DATOS TECNICOS DEL ACIDO BENZOICO.	
A. Breve historia del ácido benzoico	3
B. Fórmula	9
C. Propiedades generales	10
D. Usos	17
III. OBTENCION DEL ACIDO BENZOICO	
A. Descripción de los principales métodos de obtención	22
B. Selección de los métodos adecuados desde el punto de vista químico	29
C. Consideraciones sobre la reacción	31
D. Selección del método industrial	39
IV. PROCESOS DE FABRICACION DEL ACIDO BENZOICO	
A. Tecnología disponible	42
B. Selección de la tecnología	44
C. Descripción del proceso	45
D. Balance de materia	48
E. Balance de energía	48
F. Diseño de equipo	48

	Pág.
V. MERCADO DEL ACIDO BENZOICO	
A. Oferta	78
B. Demanda	80
C. Tendencias del mercado	84
D. Tendencias del precio	85
E. Empaques, fletes y especificaciones	87
F. Determinación de la fecha de operaciones de la planta	88
VI. EVALUACION ECONOMICA	
A. Inversión fija, costo de producción	92
B. Capital de trabajo	97
C. Gastos generales	98
D. Modelo de resultados	98
E. Flujo de caja descontado	103
VII. CONSIDERACIONES FINALES	
A. Resumen	107
B. Conclusiones	109
C. Recomendaciones	110
ANEXO I	111
BIBLIOGRAFIA	116