



9  
2ej-

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ZARAGOZA"

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA  
OBTENCION DE FURFURAL A PARTIR DE  
BAGAZO DE CAÑA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
BLANCA DEVI FRANCO DELGADILLO



MEXICO, D. F.

1992



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 está 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.

## INDICE

RESUMEN	1
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	3
CAPITULO 2	
CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL FURFURAL	
2.1 Generalidades	7
2.2 Propiedades del furfural	8
2.3 Propiedades químicas del furfural	15
2.4 Propiedades tóxicas del furfural	17
2.5 Usos y aplicaciones del furfural	18
2.6 Productos sustitutos del furfural	23
2.7 Materias Primas para la obtención de furfural	24
2.8 Calidad del furfural	29
CAPITULO 3	
ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL	
3.1 Producción de furfural en México	31
3.2 Consumo nacional	33
3.3 Precios en el mercado nacional	37
3.4 Importaciones de furfural	38
3.5 Exportaciones de furfural	41
3.6 Precios de exportación	45
3.7 Proyección del consumo nacional	46
CAPITULO 4	
ESTUDIO DE MERCADO INTERNACIONAL	
4.1 Compañías, localización de las plantas y capacidades	50
4.2 Consumo mundial de furfural	58
4.3 Precio internacional	61
4.4 Consumo de furfural en Estados Unidos	63

## CAPITULO 5

### TECNOLOGIAS PARA LA PRODUCCION DE FURFURAL

5.1	Proceso Quaker Oats	68
5.2	Proceso Escher Wyss	70
5.3	Proceso De Alba	73
5.4	Proceso Rosenlew	75
5.5	Proceso Agrifurane	78
5.6	Tecnología IMP	80
5.7	Recuperación de furfural de la industria hidrolítica	83
5.8	Recuperación de furfural de la industria de pulpas celulósicas	85
5.9	Selección de la tecnología	87

## CAPITULO 6

ESTIMADO DEL COSTO DE PRODUCCION DEL FURFURAL	89
---	----

## CAPITULO 7

CONCLUSIONES	91
--------------	----

## ANEXOS

Anexo A. Factores a considerar en la viabilidad de una alternativa	93
---	----

## BIBLIOGRAFIA

94

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1	Reacción de formación del furfural	9
Figura 2	Aplicaciones del furfural	22
Figura 3	Diagrama esquemático de flujo. Proceso Quaker Oats.	69
Figura 4	Diagrama esquemático de flujo. Proceso Escher Wyss.	72
Figura 5	Diagrama esquemático de flujo. Proceso De Alba.	74
Figura 6	Diagrama esquemático de flujo. Proceso Rosenlew.	77
Figura 7	Diagrama esquemático de flujo. Proceso Agrifurane.	79
Figura 8	Diagrama esquemático de flujo. Tecnología IMP.	82
Figura 9	Diagrama esquemático de flujo. Recuperación de furfural de la industria hidrolítica	84
Figura 10	Diagrama esquemático de flujo. Recuperación de furfural de la industria de pulpas celulósicas	86

## INDICE DE GRAFICAS.

Gráfica 1	Producción de bagazo como residuo de la industria azucarera	28
Gráfica 2	Producción y capacidad instalada de furfural en México	32
Gráfica 3	Consumo de furfural en México	35
Gráfica 4	Usos del furfural en México	36
Gráfica 5	Importaciones de furfural	40
Gráfica 6	Exportaciones de furfural	44
Gráfica 7	Importaciones de alcohol furfurilico	48
Gráfica 8	Importaciones de tetrahidrofurano	49
Gráfica 9	Desarrollo mundial de la producción de furfural	57
Gráfica 10	Distribución mundial del consumo de furfural	60
Gráfica 11	Precio internacional del furfural	62
Gráfica 12	Consumo de furfural en Estados Unidos	64

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Propiedades físicas del furfural	10
Tabla 2	Propiedades termodinámicas del furfural	12
Tabla 3	Propiedades de transporte del furfural	13
Tabla 4	Propiedades eléctricas del furfural	14
Tabla 5	Rendimiento en furfural de algunas materias primas	26
Tabla 6	Relación de valorización del bagazo de diferentes derivados para distintos precios del "fuel oil"	27
Tabla 7	Características del furfural producido por Quaker Oats	30
Tabla 8	Especificación de compra de PEMEX	30
Tabla 9	Consumidores del furfural en México	34
Tabla 10	Precio de venta de furfural de FYDSA a PEMEX	37
Tabla 11	Precio de venta de furfural de FYDSA a ESQUIM, S.A.	37
Tabla 12	Precio promedio de importación del furfural	38
Tabla 13	Volúmenes de importación de furfural por país de procedencia	39
Tabla 14	Volúmenes de exportación de furfural por país destino	43
Tabla 15	Precios de exportación del furfural producido en México	45
Tabla 16	Etapas en el desarrollo de la producción de furfural	51
Tabla 17	Capacidad mundial de la producción de furfural	56
Tabla 18	Importaciones de furfural de EUA por país de procedencia	65

## RESUMEN

---



El furfural es un producto químico industrial que se obtiene a partir de ciertos desechos agroindustriales muy abundantes en muchos países en desarrollo.

Descubierto en 1824 y fabricado comercialmente desde el decenio de 1920, el furfural se emplea para la producción de productos químicos, fundamentalmente el alcohol furfurílico, polímeros furánicos y plaguicidas furánicos. Además, se emplea en la industria farmacéutica y como solvente para la refinación de aceites minerales y vegetales, entre otros.

Desde el punto de vista comercial, el producto químico intermedio más importante derivado del furfural es el alcohol furfurílico, empleado principalmente en la fabricación de resinas furánicas para ser usadas en la industria de la fundición.

Actualmente, a nivel mundial, el 45 % de la capacidad instalada para la producción de furfural, corresponde al uso de bagazo de caña como materia prima.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de definir la factibilidad de instalar una planta de furfural a partir de bagazo de caña en México, logrando así el aprovechamiento de dicho subproducto y proveer a la industria azucarera un medio para mejorar sus actuales condiciones económicas.

Aunque en la primera etapa de la investigación del mercado nacional se observó un aumento en el consumo aparente de cerca del 50 % en 1986, que continuó con tendencia creciente y que podría aumentarse mediante la captura de los principales derivados del furfural que no se producen en México, las exportaciones no presentes en Anuarios de Comercio Exterior en los últimos años, redujeron notablemente este ritmo de crecimiento en el consumo.

El principal uso del furfural en México es en la refinación de aceites lubricantes, aunque no se prevee un aumento significativo para este uso, se pronostica un pequeño aumento para su uso en el

enriquecimiento de esencias.

A nivel mundial, la capacidad instalada de furfural es alrededor de 256,000 toneladas anuales, de las cuales cerca del 40 % se destina a la obtención de alcohol furfurílico.

Entre los principales países productores de furfural se encuentran Estados Unidos, República Dominicana, algunas Repúblicas de la Comunidad de Estados Independientes y China.

En los últimos años, la demanda mundial ha experimentado una ligera disminución que se estima se debe a que no se han desarrollado nuevos usos de importancia comercial, así mismo, por la reducción de la actividad de las industrias de fundición y otras que lo usan como solvente selectivo.

En resumen, el pequeño aumento en el consumo nacional y la carencia de mercados de exportación, determinaron la inconveniencia de instalar, actualmente, una planta de furfural en México.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

La producción de azúcar en el mundo es de poco más de 100 millones de toneladas anuales, de las cuales aproximadamente el 60 % se obtiene a partir de caña en ciento diez países en todo el mundo.

La industria azucarera se ha caracterizado por una alta inestabilidad en los precios. Los costos de producción en casi todos los países productores son mayores que los precios en el mercado, por lo que sus gobiernos han aplicado diferentes políticas proteccionistas.

Esta situación ha frenado el ritmo de crecimiento mundial reduciéndose del 5 al 2 % anual, sin embargo la tasa anual de crecimiento se ha mantenido en los países desarrollados en poco más del 2 % mientras que en los países subdesarrollados ha alcanzado el 5 %; este aumento no ha sido a expensas del crecimiento en la producción nacional sino recurriendo a importaciones cada vez mayores de los países desarrollados.

Esto ha traído como consecuencia que los países con menor desarrollo, que a comienzos de la década de 1980 tenían una participación en las exportaciones del 65 % haya disminuído 8 años después al 56 %.

La panorámica del mercado azucarero internacional resume una tendencia en la cual el azúcar pierde su valor de cambio como producto de comercialización internacional, no así su valor de uso.

Estas circunstancias por las que transcurre la comercialización del azúcar sugiere que la industria azucarera se encuentra en camino de un colapso y que, por lo tanto, dejará de tener la importancia económica que tiene actualmente para muchos países productores.

Dada esta situación, el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA) está desarrollando, con la colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el

Desarrollo (PNUD) el Programa de Diversificación de la Agroindustria de la Caña de Azúcar en América Latina y el Caribe, con la finalidad de aprovechar en forma integral la caña de azúcar mediante la industrialización de derivados.

Este programa ha considerado un grupo de factores que tienen incidencia directa y determinan la viabilidad de una alternativa, mismos que se consideraron en la evolución del presente proyecto. Dichos factores (cuyo desglose se muestra en el anexo A) son:

1. Disponibilidad de materias primas y energía
2. Financiamiento y fuente de suministro
3. Tecnología, equipamiento y construcción
4. Indicadores económicos y de demanda

Por otra parte, el Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), ha caracterizado el desarrollo de los derivados de acuerdo a sus materias primas, grado de elaboración y complejidad tecnológica en cuatro generaciones determinadas en forma convencional como sigue:

- 1.- Derivados de primera generación, corresponde al uso directo de los subproductos o derivados obtenidos con bajo procesamiento, es decir, la materia prima sufre transformaciones mínimas.
- 2.- Derivados de segunda generación, utilizan como materia prima subproductos y productos intermedios del proceso azucarero. Se obtienen a través de tecnología de baja y mediana complejidad y adquieren características propias.
- 3.- Derivados de tercera generación, se obtienen por la transformación química y/o bioquímica de derivados de segunda generación o azúcar. Parten de tecnologías de mediana y alta complejidad.
- 4.- Derivados de cuarta generación, se obtienen a partir de subproductos o derivados y mediante procesos químicos o bioquímicos de alta complejidad.

En México, la industria azucarera también ha sufrido debilitamiento, para satisfacer el creciente consumo se ha recurrido a importaciones reduciendo además las exportaciones de 933,000 toneladas en 1988 a tan sólo 4,500 toneladas en 1990.

Como una aportación a la diversificación en México, el presente trabajo se desarrolló analizando las posibilidades con que cuenta la industria azucarera mexicana de integrar una o más plantas de furfural como un medio para obtener condiciones económicas más favorables.

Entre los derivados de segunda generación, el furfural es el que ha alcanzado los precios más altos en el mercado internacional y que mantiene una tendencia ascendente, 1,859 US dls/ton contra 510 de pulpa mecánica, 620 de pulpa "kraft", 720 de pulpa rayón textil y 100 US dls/ton de tableros de partículas<sup>1</sup>.

Para lo anterior se propusieron los siguientes objetivos:

- 1.- Estudiar la posibilidad de fabricación del furfural a partir del bagazo de caña en México.
- 2.- Evaluar las tendencias nacionales de la oferta y la demanda.
- 3.- Determinar la existencia de mercados que ofrezcan posibilidades de exportación.
- 4.- Determinar la rentabilidad del proyecto.

Para alcanzar los objetivos anteriores, en primer lugar se realizó una investigación bibliográfica de las propiedades y características del furfural, incluyendo su utilización, las materias primas para su obtención y de la calidad que requiere para su compra por los diferentes usuarios en México. Esta información se presenta en el Capítulo 2.

En el Capítulo 3 se expone el estudio de mercado nacional del furfural con el cual se identificaron las empresas consumidoras así como los precios en el mercado nacional, se incluyen también

<sup>1</sup> Véase Bibliografía, referencia 28.

los volúmenes y precios de las importaciones y exportaciones que permitieron estimar el consumo.

Posteriormente se realizó el estudio del mercado internacional, que se muestra en el Capítulo 4 y que incluye la determinación de las compañías productoras a nivel mundial, su desarrollo y la capacidad de producción actual. También, se presenta un estimado del consumo mundial de furfural y en los Estados Unidos de América, uno de los principales mercados de dicho producto.

Durante la fase de investigación de los mercados nacional e internacional se estableció comunicación personal con la empresa Furfural y Derivados, S.A., único productor nacional de furfural, la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM) y el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA), así como con los principales consumidores del furfural en México.

En el Capítulo 5 se presentan las tecnologías para la producción de furfural y finalmente en el Capítulo 6 se expone un estimado del costo de producción del furfural.

**CAPITULO 2**  
**CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL FURFURAL**



En el presente Capítulo, se describen las propiedades físicas, químicas, termodinámicas, de transporte, eléctricas y tóxicas del furfural, así como sus aplicaciones y la calidad que requieren sus diferentes usuarios en México. Se muestran las materias primas para su obtención y los productos sustitutos en sus principales aplicaciones.

## 2.1 GENERALIDADES.

El furfural es el compuesto más importante de la familia de los heterocíclicos conocidos como furanos, los que se caracterizan por un anillo insaturado de cuatro átomos de carbono y un átomo de oxígeno. El furfural es un aldehído derivado de los carbohidratos complejos (hemicelulosas) conocidos con el nombre de pentosanos que se hallan presentes en muchos tejidos de plantas.

El furfural fue descubierto en 1821 por el científico alemán Dobereiner. Durante la primera guerra mundial se construyó la primera planta piloto por La Forge y Mains obteniéndose furfural a partir de olote de maíz, y fue hasta 1922 que la Quaker Oats Company de los Estados Unidos comenzó a obtenerlo a escala industrial.

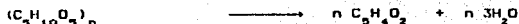
El furfural puede obtenerse, en general, de cualquier materia prima que contenga pentosanos. Durante la hidrólisis que es la primera etapa del proceso, las cadenas de pentosanos se descomponen en pentosas. En la segunda etapa las pentosas, mediante la acción de una reacción de deshidratación, dan lugar al furfural.

El proceso se esquematiza como sigue:

Hidrólisis:



Deshidratación:

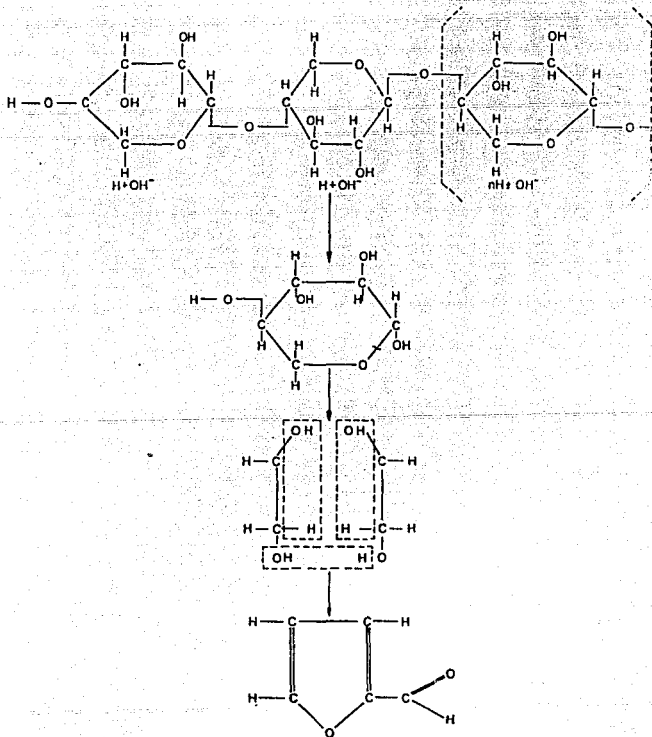


En la Figura 1 se muestra un modelo de las reacciones para producir furfural. Estas reacciones se ven favorecidas por la elevación de la temperatura y la presencia de un catalizador ácido que puede ser sulfúrico o fosfórico, entre otros. El furfural empieza a destilar a 140 °C aproximadamente, pero el rendimiento aumenta a temperaturas en el rango de 175 a 180 °C.

## 2.2 PROPIEDADES DEL FURFURAL.

El furfural recién destilado es un líquido incoloro que al contacto con el aire se oscurece paulatinamente adquiriendo un color amarillo pardo, su olor es penetrante, similar al de las almendras. En las Tablas 1 a 4 se presentan las principales propiedades físicas, termodinámicas, de transporte y eléctricas del furfural.

FIGURA 1  
 REACCION DE FORMACION DEL FURFURAL



Fuente: Revista ICIQCA 11(2-3), 71 (1978)

TABLA 1  
PROPIEDADES FISICAS DEL FURFURAL

Peso molecular (g/gmol)	96.082
Punto de ebullición (°C)	161.7
Punto de congelación (°C)	-36.5
Densidad relativa	
a 20°C	1.1598
a 25°C	1.1548
a t °C	$d=(1.1811(1-.000895 t))$
Densidad del vapor (aire=1)	3.31
Indice de refracción	
a 20°C	1.52608
a 25°C	1.52345
Volumen molar a 25°C (ml/mol)	83.19
Presión de vapor (mm Hg)	
a 60°C	15.7
a 80°C	42.0
a 100°C	99.0
a 120°C	210.0
a 140°C	567.0
a T °F	$\log P = 7.959 - \frac{2209}{T}$
Presión crítica, P <sub>c</sub> (psia)	798
Temperatura crítica, T <sub>c</sub> (°C)	397
Temperatura de inicio de vaporización (°C)	
vaso cerrado	60.0
vaso abierto	68.3
Temperatura de ignición (°C)	393
Límites explosivos (X vol, a 15°C y 740 mm Hg)	
inferior	2.1
superior	19.3
Asociación molecular	1.11

TABLA 1  
 PROPIEDADES FIBICAS DEL FURFURAL  
 (CONTINUACION)

Coeficiente de expansión térmica por °C, $\alpha$	0.0011
Solubilidad (% peso)	
en agua a 20°C	8.3
en solventes orgánicos (alcohol, éter, acetona, cloroforno, benceno y otros comp. aromáticos)	total
en cloruro de zinc anhidro	10-20
en hidratos de bario	10-20
en hidróxido clórico	1-20
en cloruro férrico	10-20
en otros comp. orgánicos	insoluble

Fuentes: Dunlop, A. P., Peters, F. N. The Eyrans, 1953  
 Kirk, Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 1960  
 G. O. Furfural. Technical Bulletin Nos. 200-G, 201-G  
 G. O. Furfural. Bulletin. General Information, Application,  
 Properties. Handling.

TABLA 2

## PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL FURFURAL

Calor de combustión (líquido), $\Delta H_{208.10}$ (kcal/mol)	-560.3
Calor de formación (líquido), $\Delta H_{208.10}$ (kcal/mol)	-49.2
Calor de fusión, $\Delta H_{200.10}$ (kcal/mol)	3.43
Calor específico (líquido) (cal/(g°C))	
de 14 a 80°C	0.401
de 20 a 100°C	0.416
Capacidad calorífica molar (líquido), (cal/(g°C))	
de 14 a 80°C	38.5
de 20 a 100°C	39.9
Entropía de fusión, $\Delta S_{281.5}$ (cal/(-Cmol))	14.60
Entropía de vaporización, $\Delta S_{281.0}$ (cal/(-Cmol))	21.26
Energía libre de formación (líquido) $\Delta F_{200.10}$ (kcal/mol)	- 31.98
Tensión superficial a 30°C (dyn/cm)	41.1

Fuentes: Dunlop, A. P.; Peters, F. N. The Furans, 1953  
 Kirk, Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, 1960  
 A. O. Furfural. Bulletin. General Information. Application  
 Properties. Handling.

TABLA 3

PROPIEDADES DE TRANSPORTE DEL FURFURAL

Viscosidad (cp)	
a 0°C	2.48
a 25°C	1.49
a 38°C	1.35
a 54°C	1.09
a 99°C	0.68
Conductividad térmica, (Btu/hft <sup>2</sup> )(°F/ft)	
a 38°C	0.1525
Coeficiente de difusividad del vapor, (cm <sup>2</sup> /s)	
a 17°C	0.076
a 25°C	0.087
a 50°C	0.107

Fuentes: Dunlop, A.P.; Peters, F.N. *The Furans*, 1953.  
 Kirk, Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 1961.  
 G.O. Furfural. Bulletin. General Information. Application  
 Properties. Handling.

TABLA 4  
PROPIEDADES ELECTRICAS DEL FURFURAL

Constante dieléctrica, (adimensional)	
a 1°C	46.9
a 20°C	41.9
a 25°C	38.0
a 50°C	34.9
Indice de absorción eléctrica (adimensional)	
	0.02
Conductividad eléctrica, (siemens)	
a 20°C	$1.11 \times 10^{-6}$
Conductividad específica (siemens)	
mínima	$0.26 \times 10^{-5}$
máxima	$0.37 \times 10^{-5}$
Función de electrocapilaridad, máxima, mm	
	891

Fuentes: Dunlop, A. P.; Peters, F. N. The Furan, 1958.  
Kirk, Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, 1960.  
G. O. Furfural. Bulletin. General Information. Application.  
Properties. Handling.



### 2.3 PROPIEDADES QUIMICAS DEL FURFURAL.

El furfural forma acetales y reacciona con reactivos de Grignard.

Puede ser oxidado a ácido fórmico, reducido a alcohol furfúrilico y convertido a furano por descarbonización sobre el catalizador adecuado.

Con bases fuertes, como hidróxido de sodio, el furfural sufre las reacciones de Cannizzaro produciendo alcohol furfúrilico y formiato de sodio.

En presencia de cianuro de sodio dimeriza a furfina el furano análogo a la benzoina. Este compuesto se oxida al furil, el análogo del benzil, la oxima del primero y la dioxima del segundo son usados como reactivos analíticos.

Mediante una reacción con amoníaco se obtiene la hidrofuramida y puede ser isomerizado a furfural.

Reacciona con fenoles en presencia de un catalizador ácido para dar un polímero muy rígido con alta resistencia química por lo que tiene excelentes usos en recubrimientos industriales.

Puede prepararse en forma semilíquida con baja viscosidad y alto poder de penetración cuando se aplica a formas porosas, tales como corazones para fundiciones o bloques de grafito.

El furfural como otros aldehídos, condensa en compuestos que poseen grupos metileno activos, tales como: ésteres carboxílicos alifáticos y anhídridos, cetonas, aldehídos, nitrilos y nitroparafinas.

El núcleo del furfural es susceptible de ser atacado por el oxígeno del aire induciendo la autooxidación, pero esta reacción se inhibe agregando materiales básicos tales como aminas terciarias. Se descompone a 565°C para dar hidróxido de carbono, furano y otros productos de la pirólisis de furano. La oxidación catalítica del vapor de furfural produce ácido maleico.

Bajo condiciones estrictamente controladas, el furfural puede someterse a reacciones de nitración y halogenación con la introducción del sustituto adecuado en la posición 5.

El furfural se copolimeriza con dimetil cetona usando un iniciador iónico formando un poliéster, que une a los dos monómeros por medio de un enlace carbonilo.

El furfural puede ser polimerizado usando rayos ultravioleta formando un polímero de estructura lineal.

#### 2.4 PROPIEDADES TOXICAS DEL FURFURAL.

Bajo condiciones normales y con manejo adecuado el furfural se considera como un compuesto no tóxico (34,53).

Por contacto con los ojos produce enrojecimiento, lagrimeo, inflamación, irritación seria y opacamiento de las córneas (53).

En la piel provoca moderada irritación, resequedad, dermatitis. La exposición prolongada puede producir manchas en la piel (53).

La excesiva inhalación de vapores puede causar irritación en el sistema respiratorio, dolor de cabeza y lagrimeo, náuseas, fatiga, somnolencia y depresión en el sistema nervioso central (53). El límite máximo aceptable en el aire es de 5 ppm (34).

La ingestión del furfural produce náuseas, vómito, debilidad, depresión en el sistema nervioso central y convulsiones (53).

## 2.5 USOS Y APLICACIONES DEL FURFURAL.

Desde que se inició su explotación comercial hace más de medio siglo, el furfural ha sido objeto de intensas investigaciones para determinar sus usos potenciales.

Generalizando, los usos conocidos más ampliamente son en la elaboración de fibras sintéticas (nylon), en la industria de la refinación del petróleo y la obtención de alcohol furfurilico para la producción de resinas. Aproximadamente 2,000 productos contienen furfural (18).

Es un compuesto muy versátil a partir del cual pueden sintetizarse una gran variedad de compuestos heterocíclicos y alifáticos.

Como intermediario químico:

### a) Producción de derivados.

A escala industrial, es fuente de derivados entre los que se encuentra el alcohol furfurilico, tetrahydrofurano, furano, alcohol tetrahydrofurilico (40,18,34) y de otros derivados de uso muy limitado entre los que pueden mencionarse politetrametileno, metilfurano, metiltetrahydrofurano, tetrahydropiranos, ácidos levulinicos (34,49).

### b) Producción de fármacos.

Los nitrofuranos derivados del furfural son ampliamente usados como bactericidas y para el tratamiento de coccidiosis en cocinas y enteritis en ganado porcino (49,52)

### c) En la industria de perfumes para enriquecimiento de aromas y sabores (18).

### d) En la obtención de fungicidas y conservadores, insecticidas y herbicidas (18).

### e) En la elaboración de fibras sintéticas (nylon) (18).

### f) En la elaboración de hormigones, lacas y recubrimientos anticorrosivos de elevada resistencia térmica y mecánica.

**Aplicación como solvente y sus derivados:**

- a) Refinación de aceites lubricantes. La extracción líquido-líquido de petróleo con furfural se emplea para eliminar compuestos aromáticos insaturados (24,26) y aumentar el índice de viscosidad de los aceites lubricantes que los hace resistentes a la oxidación (30,34,56) y disminuye su contenido de azufre y residuos de carbono (58). Este es su principal uso como solvente selectivo.
- b) Purificación de resinas de madera (18,19). Por medio de la aplicación de furfural en la destilación fraccional al vapor pueden eliminarse de la resina de madera sustancias colorantes. La resina de color claro así obtenida se utiliza en las industrias del jabón, barniz y papel (49,56).
- c) Refinación de aceites animales y vegetales y en la concentración de vitaminas A y D (56,58).
- d) Destilación extractiva. Al agregar furfural se alteran las diferencias normalmente muy pequeñas que existen entre los puntos de ebullición de los distintos compuestos del petróleo y se separan los hidrocarburos con cuatro carbonos. Por ello es útil para la extracción de butadieno.
- e) Como solvente de pinturas y eliminador de lodos.

El alcohol furfurílico es un líquido claro y transparente que se oxida por el aire adquiriendo primero una coloración amarilla y después llega a ser oscura casi negra. Es soluble en agua y otros solventes orgánicos como etanol, éter, acetona, acetato de etilo. En medio alcalino es estable, en cambio en medio ácido se polimeriza fácilmente.

El alcohol furfurílico se obtiene por hidrogenación catalítica del furfural. Su importancia está determinada por una serie de factores como son: baja viscosidad, alta reactividad y propiedades térmicas, mecánicas y químicas de sus polímeros que le dan un margen amplio de aplicabilidad en la industria. La mayor aplicación del alcohol furfurílico es en la producción de resinas furánicas. Estas resinas tienen múltiples aplicaciones por sus excelentes propiedades físico-mecánicas. Las resinas furánicas

empleadas para la fabricación de recubrimientos, poseen una extrema dureza, resistencia química a temperaturas de 180 a 200° C y son de rápido secado al aire, por lo que se emplean para fabricar pinturas marinas (1), recubrimientos de metales y otras aplicaciones específicas.

En la U.R.S.S.,<sup>2</sup> país que cuenta con gran desarrollo en la industria del furfural y sus derivados, se utilizan industrialmente varios tipos de recubrimientos de base furánica, fundamentalmente los derivados del furfural y alcohol furfúrico y sus modificaciones con resinas epoxicas, caucho, polivinil-butiral, etc. para disminuirle su rigidez o darle mayor adhesividad a las diferentes superficies (1).

Las resinas modificadas de alcohol furfúrico se han empleado también para la producción de cementos antiácidos (4) y plásticos reforzados y resistentes a medios agresivos (18) útiles en embarcaciones (6).

En la elaboración de plásticos delgados y suaves pero resistentes, empleados para la conservación de alimentos refrigerados, éste último uso surgió al comprobar sus propiedades no cancerígenas mientras que su sustituto derivado del petróleo sí es cancerígeno, esta cualidad le ha dado mucho auge en el mercado japonés principalmente y en algunos otros países desarrollados (17).

Otro uso importante de las resinas furánicas es como aglutinante en mezclas de moldeo en la producción de hierro y acero (15) para la fabricación de machos. La introducción de dichas resinas a la industria de la fundición ha proporcionado ventajas sobre las resinas fenólicas, como aumento en la productividad, mayor exactitud en las dimensiones de las piezas fundidas, menor toxicidad y contaminación del medio laboral (14).

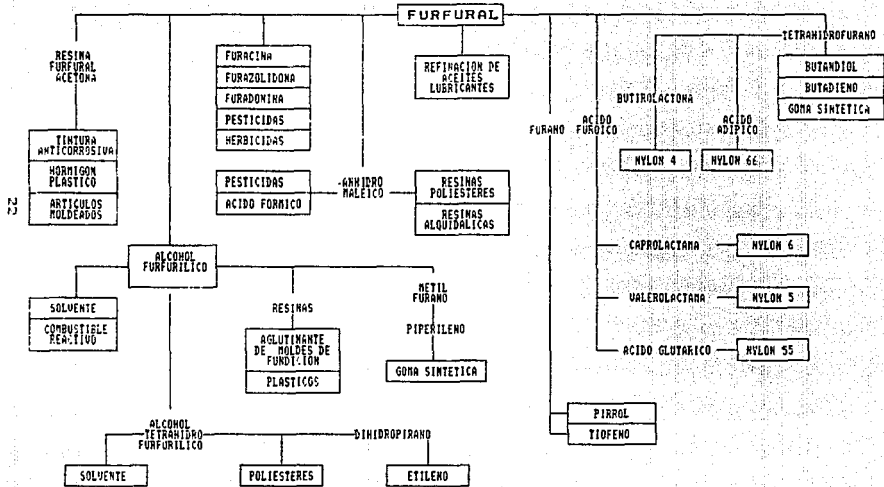
En general, las resinas furánicas tienen gran valor industrial adquirido por sus excelentes propiedades químicas, térmicas y

2

En el presente trabajo se referirá como U. R. S. S. a la actual Comunidad de Estados Independientes.

mecánicas. Dichas resinas tienen alta resistencia a la corrosión, al fuego, tienen emisiones reducidas de humo y muy buena carbonización (30). Algunas resinas adquieren gran fluidez por lo que se emplean como soluciones impregnadoras. Las maderas impregnadas con resinas furánicas adquieren además resistencia biológica y química frente a los ácidos y álcalis diluidos (3).

FIGURA 2  
 APLICACIONES DEL FURFURAL



FUENTE: ICIQA. SOBRE LOS DERIVADOS DE LA CENA DE AZUCAR.  
 REVISTA, NO. 2/3, VOL. XI, 1977.



## 2.6 PRODUCTOS SUSTITUTOS DEL FURFURAL.

El fenol es el principal sustituto del furfural como solvente selectivo, se estima que el mercado se encuentra dividido entre estas dos materias primas. Sin embargo, la tendencia del mercado está a favor de la utilización del furfural, ya que el fenol es mucho más corrosivo, contaminante y es más peligroso en su manejo.

En la extracción de butadieno, el furfural ha sido desplazado por otros productos entre los que se encuentran: dimetilformamida, n-metilpirrolidona, y dimetilacetamida (9), el uso de estos productos ha reducido el consumo de energía por tonelada de butadieno recuperado.

En la fabricación de resinas, se puede emplear el formaldehído como agente sustituto del furfural; sin embargo el furfural tiene un rendimiento 45 % mayor que el formaldehído, es decir, 100 kg de fenol producen 185 kg de resina cuando se utiliza furfural, en cambio al usar el formaldehído sólo se obtienen 127 kg (56), además las resinas furánicas poseen mejores propiedades.

## 2.7 MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE FURFURAL.

El furfural, como se mencionó anteriormente, puede obtenerse de cualquier residuo que contenga pentosanos, sin embargo para que el proceso de obtención sea rentable debe tenerse un contenido mínimo entre 18 y 20 % (41,56,59). La Tabla 5 muestra el contenido de pentosanos, así como el rendimiento en furfural obtenido mediante procesos industriales y los requerimientos de algunas materias primas. Se reporta el contenido promedio de pentosanos pues para una misma materia prima éste puede variar según las condiciones locales.

La economía de la producción de furfural depende del alto contenido de pentosanos así como la disponibilidad y costo de las materias primas. Sólo relativamente pocos materiales (olote de maíz, bagazo, cáscara de avena) se usan comercialmente en el mundo. Industrialmente la recuperación económica del furfural está en el rango de 50 a 70 % de la producción teórica (59).

El principal uso que se ha dado al bagazo es como combustible en los propios ingenios azucareros; la situación actual es tal, que no solamente es necesario utilizar todo el bagazo como combustible sino que con frecuencia se consumen cantidades importantes de combustible externo. Sin embargo, en una fábrica de azúcar bien proyectada no se considera imposible obtener sobrantes de bagazo del orden de 40 a 50 % del producido (13).

Actualmente, se ha logrado exitosamente a escala industrial, la producción de pulpa, papeleras, tableros artificiales, furfural y forraje para alimentación animal, entre otros.

La utilización del bagazo para este fin lo revaloriza es decir, aumenta su valor en relación a su uso como combustible, (27,28) esta relación expresada como sigue:

$$\text{Relación de valorización} = \frac{\text{Precio del derivado en el mercado}}{\text{Precio del bagazo} * \text{Índice de consumo de bagazo}}$$

tiene valores altos para los papeles de imprenta y periódico, para el furfural es inferior a éstos, pero positivo. El Instituto Cubano de Investigación sobre los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) ha reportado la revalorización del bagazo, para diferentes productos, que se muestran en la Tabla 6.

En México, también se destina un gran porcentaje de bagazo a su uso como combustible, en 1989 al 79.35 % se le dio ese uso; en volúmenes considerablemente menores se emplea para producir tablas duras y alimento para ganado. La Gráfica 1 muestra la producción de bagazo como residuo de la industria azucarera para un periodo comprendido entre 1983 y 1990.

La relación de valorización del bagazo para la producción del furfural en México no puede determinarse con exactitud debido a que no se obtiene de esta materia prima, sin embargo considerando un requerimiento teórico de 12.5 ton de bagazo por ton de furfural (36) y un costo promedio de combustible de 145 US dls/ton en 1991 y de bagazo integral de 27.88 US dls/ton, la relación de valorización tiene un valor de 5.31.

26

26

TABLA 5  
RENDIMIENTO EN FURFURAL DE ALGUNAS MATERIAS PRIMAS

MATERIA PRIMA	CONTENIDO DE PENTOSANOS	RENDIMIENTO INDUSTRIAL DE FURFURAL (%)	MATERIA PRIMA REQUERIDA POR TON DE FURFURAL PRODUCIDO (TON) TOTALMENTE SECA
Tusas de maíz	30-32	10	10
Caña de maíz	24		
Cáscara de			
avena	32-36	10	
almendra	mín. 30	9-10	
semilla de algodón	23-28	8-9	
avellana	24	7-8	
arroz	16-18	6	
semilla de girasol	23-25	6-7	
castaño	11		
cacahuete	14-17		
tallo de girasol	30-33		
Corteza de haya	19-21	5-6	20
Bagazo y médulas de bagazo	25-27	8-9	12.5
Residuos de aceituna	21-23	5-6	
Maderas (después de haberse extraído el tanino), de			20
castaño	16-18	5-6	
quebracho	19	5-6	18
abedul	21-25	6-8	14
roble	20-21		
acacia	20		
paja de trigo	18-20	6-7	

Fuentes: UNCTAD/GAT "Fabricación y comercialización del Furfural" (1980)  
 Chemical Economic Handbook, (1981)  
 McKetta J. "Encyclopedia of Chemical Processing and Design" (1980)

TABLA 6

RELACION DE VALORIZACION DEL BAGAZO DE DIFERENTES  
DERIVADOS PARA DISTINTOS PRECIOS DEL "FUEL OIL"

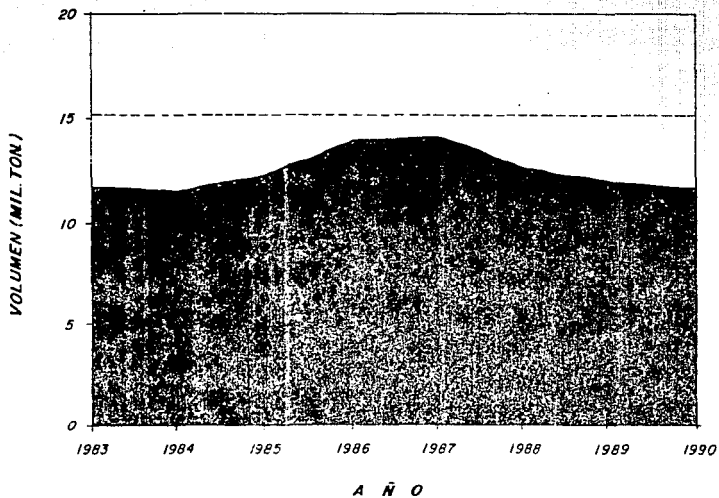
DERIVADO	RELACION DE VALORIZACION		
	PRECIO "FUEL OIL"/PRECIO BAGAZO (Us dls/ton)		
	50/17.30	110/21.15	140/26.90
Papeles imprenta y escribir (con pulpa química)	19.6	15.9	12.6
Papel "offset"	13.7	8.7	6.6
Papel periódico con pulpa quimimecánica	12.9	10.6	8.3
Pulpa "pluff"	11.2	9.8	7.5
Cartoncillo (con pulpa quimimecánica)	10.3	8.4	7.5
Pulpa química	6.6	5.4	7.5
Furfural	4.2	3.4	2.7
Tableros en partículas	4.1	3.4	2.7
Pulpas quimimecánicas	3.9	3.2	2.5
Pulpa para disolver	3.5	2.8	2.2
Carbón activado	2.4	1.9	1.5

Fuentes: ICIDCA, DEPLACFA, PNUD Manual de los derivados de la caña de azúcar, 1990

Harryman, M.; Ramos, J.; Almagro, R. Situación nacional del bagazo. Su revalorización como materia prima para la industria de derivados. Cuba, 1990.

**GRAFICA 1**

**PRODUCCION DE BAGAZO EN MEXICO**



## 2.8 CALIDAD DEL FURFURAL.

La calidad del furfural tanto en el mercado nacional como en el internacional, se rige de acuerdo a especificaciones de la ASTM (American Standard for Testing of Materials). La Tabla 7 contiene las principales características del furfural producido por la Quaker Oats Co.

PEMEX compra el furfural según la especificación MP-1270-B4 (06-01-072) de la Gerencia de Operación de Refinerías (Tabla 8).

En el próximo capítulo, se presenta el estudio de mercado nacional que incluye la identificación de la capacidad de producción actual, así como los volúmenes de importación y exportación, lo que permite estimar la demanda futura del furfural. Lo anterior se realiza, con el fin de determinar la capacidad de producción requerida así como la calidad y el precio que debe fijarse al furfural para integrarlo al mercado.

TABLA 7

CARACTERISTICAS DEL FURFURAL PRODUCIDO POR Q.O.

PRUEBA	ESPECIFICACION
Pureza mínima, %	98.0
Humedad máxima, %	0.2
Acidez máxima, equiv. por litro	0.02
Residuos máximos, %	0.5

Fuente: Q.O. Furfural Specifications. Chem. Inc. Division of the Q.O. Co.

TABLA 8

ESPECIFICACION DE COMPRA DE PEMEX

PRUEBA Y METODO	ESPECIFICACION
Peso específico a 20/4°C Método ASTM D-1298	1.54
Acidez máxima Método ASTM D-1980-67	0.02
Sulfato, % Método SP 84-37	—
Agua por destilación máxima, % Método ASTM D-850-90	0.2
Destilación, 1%. °C, mínimo Método ASTM D-850-79	145
T F máxima, °C Método ASTM D-850-79	163.0
Recuperado mínimo, % Método ASTM D-850.79	98.5

Fuente: Gerencia de Refinación. Superintendencia General de Ingeniería de materiales. PEMEX.



**CAPITULO 3**  
**ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL**

En el presente Capítulo, se expone un análisis del mercado nacional de furfural, identificando los volúmenes de producción, importación y exportación, que permiten estimar el consumo aparente en México.

Se muestra, además, los precios de venta a los principales consumidores nacionales, así como los precios de importación y exportación. Finalmente, se presentan las perspectivas en el consumo de furfural.

### 3.1 PRODUCCION DE FURFURAL EN MEXICO.

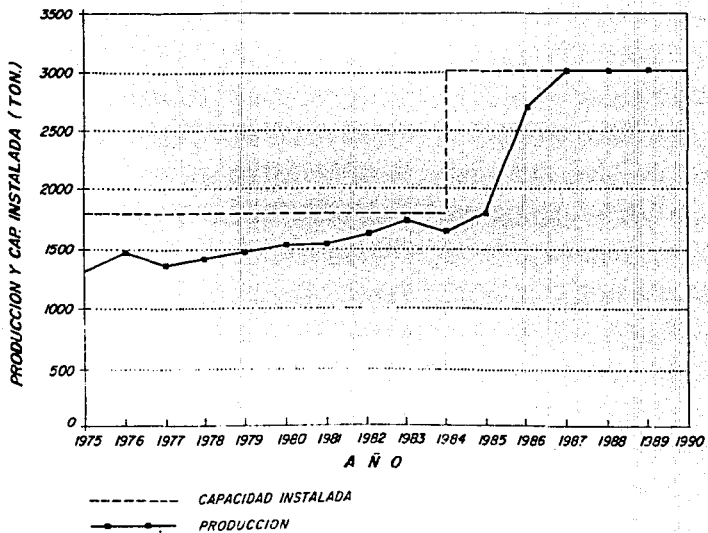
En México existe solamente un productor: Furfural y Derivados, S.A. con una producción actual de 3,000 ton/año, cuya planta se localiza en Irapuato, Guanajuato. Inició operación en 1968 con una capacidad instalada de 1,800 y una producción de 174 toneladas empleando como materia prima olote de maíz. Esta planta opera con tecnología mexicana desarrollada por el Ing. Luis De Alba Martínez. El proceso es discontinuo y la hidrólisis es catalizada por ácido sulfúrico.

En la Gráfica 2 se muestra la producción de furfural así como la capacidad instalada para el periodo comprendido entre 1975 y 1990. puede observarse un aumento en la producción correspondiente a aproximadamente 2.8 % anual desde 1975 a 1982 acercándose al 100 % de la capacidad instalada, por lo que durante 1982 y 1983 realizó ampliaciones que elevaron su capacidad de producción a 3,000 ton/año alcanzando dicha producción en 1987 (19).

Se sabe de la existencia de otra planta, Productos Furánicos, de México, con capacidad de producción de 8,000 ton/año (9,55) en Xicoténcatl, Tamp. Esta planta suspendió su operación en 1981 (21) por dificultades en el control de contaminación de efluentes residuales.

GRAFICA 2

PRODUCCION Y CAPACIDAD INSTALADA  
DE FURFURAL EN MEXICO



### 3.2 CONSUMO NACIONAL.

El principal consumidor en México es Petróleos Mexicanos que adquiere alrededor del 50 % de la producción nacional, centralizando su consumo en las siguientes plantas (42,43):

- Planta "Tratadora de lubricantes con furfural LF" de capacidad nominal 8,000 bis/día en Salamanca, Gto., con un consumo anual promedio de 580 ton de furfural.
- Planta "Tratadora de lubricantes con furfural 2U-3 de capacidad nominal 10,000 bis/día que consume aproximadamente 695 ton/año de furfural.

Actualmente se encuentra en etapa de construcción la ampliación de la Tratadora de lubricantes con furfural LF, esta ampliación incrementará la producción de lubricantes en 4,000 bis/día (43) y el consumo de furfural en 277 ton/año.

Algunos otros consumidores y el uso que dan al furfural se muestra en la Tabla 9. El segundo consumidor del furfural producido en México es Esquim, S. A. que adquiere alrededor del 8 % de la producción (19), destinándolo a la obtención de fármacos: furazolidona, nitrofurazona y furaltadona.

En volúmenes pequeños, el furfural es consumido por varias empresas en el enriquecimiento de esencias.

En la Gráfica 4 se presenta un estimado de el consumo de furfural en sus diversas aplicaciones en México en 1990, que puede resumirse de la siguiente manera:

Refinación de aceites lubricantes	57 %
Fármacos	7 %
Exportaciones	15 %
Otros	21 %

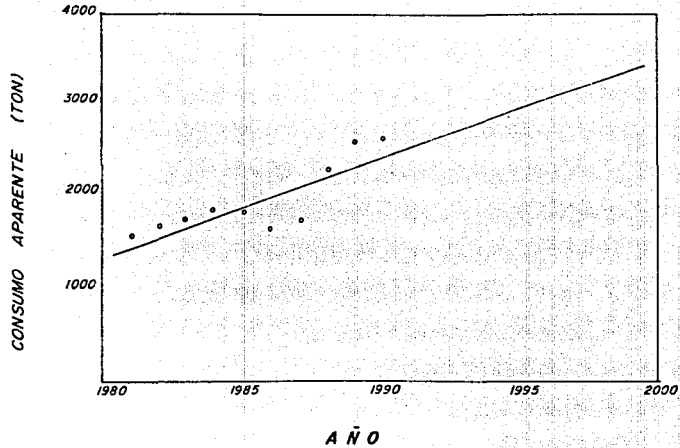
TABLA 9  
**CONSUMIDORES DE FURFURAL EN MEXICO.**

COMPARIA	MERCADO PRINCIPAL
Petróleos Mexicanos	Refinación aceites lubricantes
Electro Carbon, S. A.	n.d.
Firmenich Mexicana, S. A.	Aromas y sabores
Abrasivos Austromex	Abrasivos
J. T. Baker	Solventes y reactivos para laboratorio.
Esquia, S.A. de C.V.	Fármacos
Takasago S.A. de C.V.	Aromas y sabores.
Merck Mex, S.A.	Aromas y sabores
Givaudan Mexicana, S.A. de C.V.	Aromas y sabores.
Lucta Mexicana, S.A.	Aromas y sabores.
V.Mans Fils Mexicana, S.Á.	Aromas y sabores.

Fuente: Comunicación con la industria.

GRAFICA 3

PROYECCION DEL CONSUMO DE FURFURAL EN MEXICO

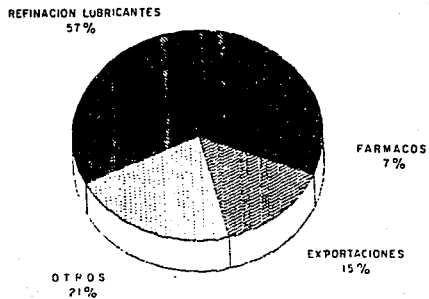


• DATOS HISTORICOS  
— AJUSTE

TIPO DE PROYECCION: CORRELACION SIMPLE VARIABLE vs TIEMPO

GRAFICA 4

USOS DEL FURFURAL EN MEXICO



### 3.3 PRECIOS EN EL MERCADO NACIONAL.

Los precios de venta de FYDSA a PEMEX, principal consumidor, varían según un convenio entre ambos y depende del precio de la materia prima que es el olote de maíz, se cuenta únicamente con los precios en 1985, 86 y 87, (Tabla 10), así mismo se obtuvieron los precios a los cuales vendió FYDSA a ESQUIM, S.A. (Tabla 11).

TABLA 10

#### PRECIOS DE VENTA DE FURFURAL A PEMEX

FECHA	PRECIO DE VENTA US dls/ton
enero 1985	2,980
enero 1986	2,040
agosto 1987	1,830

Fuente: Ordenes de compra de PEMEX de las fechas indicadas

TABLA 11

#### PRECIOS DE VENTA DE FURFURAL A ESQUIM, S.A.

FECHA	PRECIO DE VENTA US dls/ton
febrero 1987	2,180
julio 1987	2,150
diciembre 1987	2,050
enero 1991	1,697
enero 1992	1,790

Fuente: Esquim, S. A.



### 3.4 IMPORTACIONES DE FURFURAL.

Las importaciones de furfural han presentado un comportamiento muy irregular y representan un bajo porcentaje del consumo nacional, el mayor es el correspondiente a 1984 que alcanzó el 11 %.

Las importaciones para el periodo comprendido entre 1979 y 1990, se muestran en la Gráfica 5. En la Tabla 13 aparecen los valores de importación por país de procedencia, puede observarse que los mayores volúmenes provienen de Estados Unidos. Los precios promedio de importaciones presentan una tendencia constante hasta 1988 (Tabla 12).

TABLA 12

#### PRECIO PROMEDIO DE IMPORTACION DEL FURFURAL

AÑO	PRECIO DE IMPORTACION	
	\$/TON	US DLS/TON
1980		1,567
1981	39,298	1,557
1982	43,890	1,577
1983	1'960,000	15,260
1984	1'292,181	1,492
1985	316'755	1,467
1986	821,493	1,470
1987	1'859,636	1,579
1988	3'566,000	1,580
1989	13'443,000	5,480
1990	11'287,000	4,020

Fuente: Anuarios de Comercio Exterior. Dirección General de Estadística.

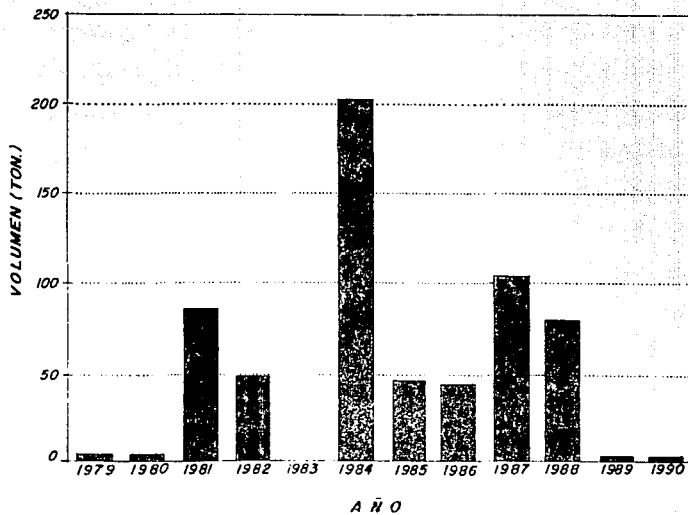
TABLA 13  
 VOLUMEN DE IMPORTACION POR PAIS DE PROCEDENCIA.

PAIS	VOLUMEN DE IMPORTACION (kg)											
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA			1				3		31,300	249		
ARGENTINA									61			
BELGICA-LUXENBURGO									6,903			
BRASIL					24,710	20,010	40,020		2,028			80
ESPAÑA									2,520			
ESTADOS UNIDOS	2,347	85,017	46,365		201,764	24,710	2,149		462,689	1,090		250
FRANCIA									4,320			
ITALIA									46.4			
IRLANDA									6			
JAPON									1,069			
PAISES BAJOS									3,361			
PUERTO RICO									19.6			
REINO UNIDO									1,007			
SUIZA	5		13	100	120	105	100		1,337	143		961
<b>TOTAL</b>	<b>2,052</b>	<b>85,017</b>	<b>46,359</b>	<b>100</b>	<b>226,594</b>	<b>44,025</b>	<b>42,352</b>		<b>516,667</b>	<b>2,202</b>		<b>1,291</b>

FUENTE. ANUARIOS DE COMERCIO EXTERIOR. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA.

**GRAFICA 5**

**IMPORTACIONES DE FURFURAL**



### 3.5 EXPORTACIONES DE FURFURAL.

Las exportaciones de furfural hasta 1987 no figuran en las estadísticas nacionales sobre comercio exterior. Sin embargo, otras fuentes (9,10,56,57) reportan para otros países importaciones desde México, tal es el caso de Japón, que reporta importaciones de volúmenes pequeños en 1973 y 1974, así mismo Brasil importó 214 ton en 1973.

México exportó furfural a Estados Unidos de 1974 a 1977 alcanzando 596 ton a un precio promedio de 1,600 US dls/ton (560 US dls sobre el precio internacional en esos años). Es probable que el furfural exportado en ese periodo fue producido en la planta de Xicoténcatl cuyos volúmenes de producción tampoco fueron dados a conocer oficialmente.

A partir de 1986 se incrementaron las exportaciones a Estados Unidos, alcanzando en 1987 poco más de 1,040 ton y 1,069 millones de dólares.

Aunque Furfural y Derivados S.A. (FYDSA) afirmó vender a PEMEX desde hace más de 10 años el 90 % de su producción, con órdenes de compra de PEMEX se determinó que dicha empresa no consume más del 50 % de la producción nacional.

En U.S. General Imports and Imports for Consumption (57) se reporta que Estados Unidos importó de México volúmenes considerables de furfural en 1986 y 1987, pero según el único productor y los organismos mexicanos de Comercio Exterior esto no sucedió.

En la siguiente tabla se pretende ilustrar la posibilidad de la existencia de dichas exportaciones.

Año	Producción (19)	Vol. de ventas PEMEX (44)	Vol. con destino otros	Vol. con destino desconocido	Vol. importac. E.U.A (57)
1986	3,000	1,400	240	1,360	1,300
1987	3,000	1,600	180	1,220	1,405

Lo anterior parece confirmar la aseveración del Dr. Robert English (17) quien aseguró la existencia de un muy buen mercado internacional para el furfural y la insistencia de los productores por reservarse sus datos de exportaciones y ventas.

En 1989 se exportaron 522 ton y hasta octubre de 1990 el volumen exportado corresponde a 320 ton y aproximadamente 320 mil dólares (57).

En la Tabla 14 aparecen las exportaciones de furfural por país destino, las exportaciones totales se muestran en la Gráfica 6.

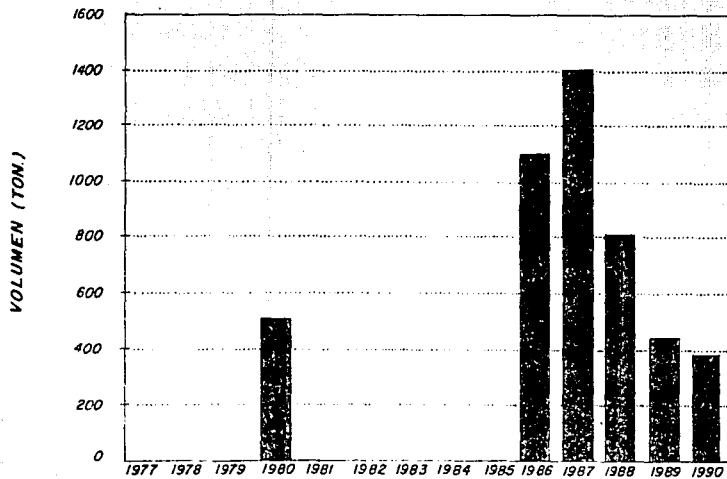
TABLA 14  
VOLUMENES DE EXPORTACION POR PAIS DESTINO

PAIS	VOLUMEN DE EXPORTACION (kg)										
	1973	1974	1975	1976	1977	1980	1986	1987	1988	1989	1990
REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA									23,049		
ARGENTINA									8,300		
BELGICA-LUXENBURGO									2,278		
BRASIL	214,000										
COLOMBIA									379		
COREA DEL SUR									85		
COSTA RICA									224		
CUBA									1,276		
CHINA									2,372		
ECUADOR									430		
ESPAÑA									5,381		
ESTADOS UNIDOS		252,000	596,000	95,000	381,000	506,231	1' 085,494	1' 341,192	748,661	522,072	320,000
FILIPINAS									17		
FRANCIA									4,689		
GUATEMALA									13		
INDIA									3,673		
INDONESIA									27		
IRLANDA									0.4		
ISRAEL									110		
JAPON	17,000	24,000			5,000				264		
PAISES BAJOS									11,513		
PANAMA									0.4		
PERU									2,150.3		
REINO UNIDO									15.8		
REPUBLICA DOMINICANA									2,151		
SINGAPUR									12.2		
SUIZA									436		
TAILANDIA									316.8		
URUGUAY									1,298.6		
VENEZUELA									2,159		
<b>TOTAL</b>	<b>231,000</b>	<b>276,000</b>	<b>596,000</b>	<b>95,000</b>	<b>386,000</b>	<b>506,231</b>	<b>1' 085,494</b>	<b>1' 341,192</b>	<b>813,281.7</b>	<b>522,072</b>	<b>320,000</b>

FUENTES. FABRICACION Y COMERCIALIZACION DEL PURPURA, VALORIZACION DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS. OMBREIA 1970.  
 US GENERALS IMPORTS AND EXPORTS FOR CONSUMPTION, 1987, 1988, 1989.  
 CHEMICAL ECONOMIC HANDBOOK, SERI INTERNACIONAL, 1986.  
 DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA, ANUARIOS DE COMERCIO EXTERIOR.

GRAFICA 6

EXPORTACIONES DE FURFURAL



AÑO

### 3.6 PRECIOS DE EXPORTACION.

Como se mencionó anteriormente las exportaciones del furfural producido en México han sido muy irregulares y en volúmenes poco significativos hasta antes de 1987. En la Tabla 15 se muestran los precios de las exportaciones y puede observarse que son sensiblemente más bajos que los precios en el mercado nacional.

TABLA 15

PRECIOS DE EXPORTACION DEL FURFURAL  
PRODUCIDO EN MEXICO

ANO	PRECIO DE EXPORTACION (US DOLL/KG)
1973	0.76
1974	1.03
1975	2.42
1980	0.96
1986	1.07
1987	1.03
1988	0.94
1989	0.82
1990	0.99

Fuente: U. S. General Imports and Imports for Consumption.  
Anuarios de Comercio Exterior.  
UNCTAD/GATT. Fabricación y Comercialización del Furfural.



### 3.7 PROYECCION DEL CONSUMO NACIONAL.

El consumo de furfural presenta, de 1980 a 1990, una tendencia ascendente (Gráfica 3) que sería posible aumentar mediante la captura del mercado existente de los subproductos, alcohol furfurílico y tetrahidrofurano principalmente, que actualmente se satisfacen mediante importaciones, así como la sustitución de las importaciones del propio furfural.

Sin embargo, existen datos que indican que la construcción de una planta de alcohol furfurílico en México no sería factible. La Gráfica 7 muestra las importaciones de este producto para el período de 1980 a 1990, puede observarse el comportamiento descendente del volumen importado y la relación que guarda con el precio de importación, lo que parece indicar que se ha prescindido de este producto o se ha sustituido en alguna(s) de sus aplicaciones. Las importaciones de tetrahidrofurano han aumentado, aunque no significativamente (Gráfica 8).

Por otra parte, en lo que se refiere al principal uso del furfural en México, se tiene lo siguiente:

PEMEX planeaba la construcción de dos plantas para refinar aceites lubricantes:

"Tratamiento con Furfural No. 1" de 20,000 bis/día de capacidad, que iniciaría su operación en 1990 y "Tratamiento con Furfural No. 2" de 13,500 bis/día para 1995, ambas en Tula, Hgo. Sin embargo, la primera se canceló con un avance de 70 % en ingeniería sin haberse iniciado la construcción, mientras que la segunda no pasó de la etapa de planeación. La construcción de estas plantas aumentaría el consumo de furfural en cerca de 2,300 ton. Actualmente no se tienen planes para continuar con dichos proyectos, por lo que el consumo de furfural para este uso permanecerá constante.

La instalación de una planta de furfural sólo es factible si se indujera un incremento en la demanda mediante planes de difusión y promoción de los diversos usos de los productos, algunos de ellos

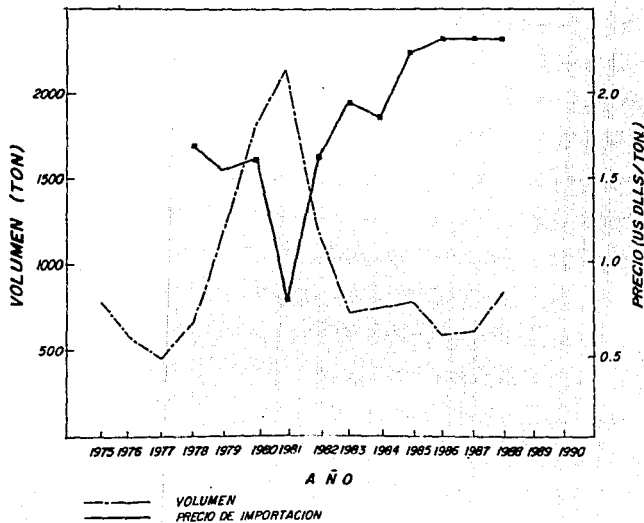
ya conocidos en otros países, pero que no han sido suficientemente aprovechados en México.

En resumen, si no se induce el aumento en la demanda puede esperarse que el consumo no aumente significativamente en los próximos años; la proyección efectuada muestra un aumento en el consumo de 800 ton para los próximos 10 años, las posibilidades de aumento son las correspondientes al uso del furfural para elaboración de fármacos y como enriquecedor de escencias.

La información incluida en este Capítulo, refleja un pequeño aumento en la demanda nacional del furfural, por lo que es conveniente determinar la existencia de mercados para la exportación del producto. En el siguiente Capítulo, se incluye un estudio de mercado internacional.

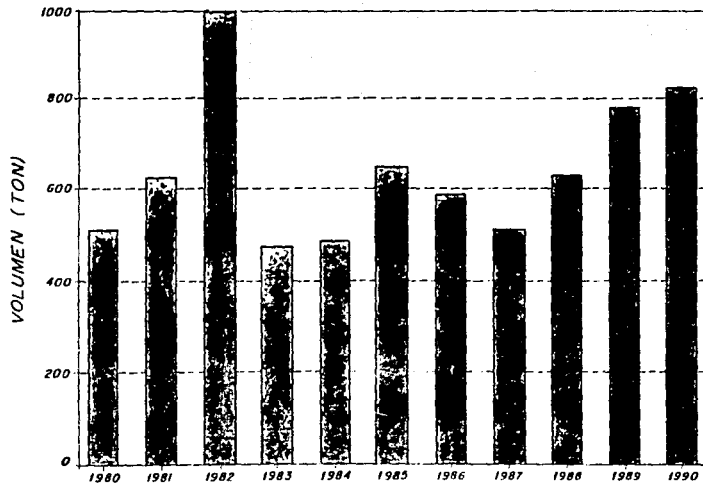
GRAFICA 7

IMPORTACIONES DE ALCOHOL FURFURILICO



**GRAFICA B**

**IMPORTACION DE TETRAHIDROFURANO**



**AÑO**

**CAPITULO 4**  
**ESTUDIO DE MERCADO INTERNACIONAL**

En el presente Capítulo se expone el estudio de mercado internacional del furfural, para determinar la existencia de mercados de exportación. Se incluye la identificación de las plantas productoras, su capacidad y localización y se señala el desarrollo experimentado por la producción de furfural a partir del año 1922 en que fue instalada la primera planta. Así mismo, se incluye la evolución del precio internacional, un estimado del consumo mundial y del consumo en los Estados Unidos, uno de los principales mercados de dicho producto.

#### 4.1 COMPANÍAS PRODUCTORAS, LOCALIZACIÓN DE LAS PLANTAS Y CAPACIDADES.

La primera fábrica de producción de furfural a escala comercial fue establecida en los Estados Unidos de América en 1922 por la Quaker Oats Co. que ha dominado desde entonces la producción y la comercialización de furfural y sus derivados.

En conjunto, la industria del furfural se caracteriza por la gran reserva que guarda respecto del volumen y el valor de la producción y las ventas. Por lo general un país productor no suele contar con más de un fabricante y normalmente no se publican cifras oficiales de la producción.

El grado de utilización de la capacidad instalada puede variar sensiblemente debido a las dificultades técnicas, especialmente durante el periodo inicial; análogamente puede registrarse escases de materias primas a consecuencia de malas cosechas.

Durante los tres primeros decenios de producción comercial, el descubrimiento de nuevos e importantes usos finales para el furfural determinó el crecimiento de la capacidad de producción.

En los primeros 20 años, el furfural se utilizó principalmente como solvente para refinar aceites lubricantes, siendo la capacidad de la única planta productiva de 10,000 toneladas

anuales. Durante la Segunda Guerra Mundial, empezó a usarse para la extracción de butadieno, la misma firma construyó una segunda planta y la capacidad de producción de esta sustancia se aumentó hasta alcanzar unas 23,000 ton/año, luego se utilizó el tetrahidrofurano obtenido a partir de furfural para la producción de nylon 66. Desde entonces se han construido plantas en diversos países. En la Tabla 16 pueden observarse las etapas en el desarrollo de la producción de furfural, el número de plantas instaladas y la capacidad instalada alcanzada al final del decenio.

TABLA 16  
ETAPAS EN EL DESARROLLO DE LA PRODUCCION DE FURFURAL

Periodo	No. Plantas	Cap.Instalada Anual
1922-1949	3	30,000
1950-1959	8	68,200
1960-1969	13	93,700
1970-1979	11	252,800
1980-1989	3	255,800

En la etapa de 1950 a 1959 se instalan 8 nuevas plantas, elevándose la capacidad de producción a 68,000 ton anuales (56).

En 1951 la Quaker Oats de Estados Unidos instala su tercera fábrica de 18,000 ton de capacidad, elevando su producción a 46,000 toneladas anuales (9,54).

En 1954 Ledoga, Sp., construye en Italia la primera planta usando un proceso continuo de 4,000 ton/año de capacidad (55) empleando

como materia prima castañas y aceitunas.

En 1955 la República Dominicana se convirtió en el primer país en desarrollo productor de furfural y el segundo productor mundial con una capacidad inicial de 20,000 ton anuales aproximadamente (59). Actualmente ha alcanzado 40,000 ton/año (28), esta planta opera con el proceso de la Quaker Oats Co., empleando como materia prima bagazo de caña y está instalada en la Central La Romana.

En 1957 se integra la segunda planta de la U.R.S.S., instalada en Krasnodar con una capacidad de 2,000 ton/año y en 1958 inicia la operación de la tercera planta de 2,000 ton (54) con la que la U.R.S.S. aumenta su capacidad instalada a 5,000 ton/año. A fines de 1959 se instala en Francia la primera planta con otro proceso conocido como Agrifuran, inició operación con una capacidad anual de 4,000 ton (54) y actualmente cuenta con 10,000 ton anuales (10,28).

Los años 60 vieron una proliferación de pequeñas plantas en diferentes países usando este proceso al tiempo que se aumentaba la recuperación de furfural como producto secundario de la industria hidrolítica y de la celulosa.

En 1960 se instala una planta adicional en Sumerlog, U.R.S.S. aumentando la capacidad de producción en ese país en 1,000 ton/año (59). Durante 1962 se integran 2 fábricas de furfural, una en Argentina con capacidad inicial de 1,000 ton/año (59) y que actualmente produce 1,800 ton anuales a partir de salvado de avena (9,28) y otra en Braila, Rumania de 1,000 ton/año.

En 1964 Polonia se convierte en productor de Furfural con una planta de 1,000 ton/año, empleando residuos de avena como materia prima (59), actualmente ésta se encuentra fuera de operación (28). En el mismo año en Checoslovaquia se integra una planta de 1,000 ton anuales (59).

La capacidad mundial de producción que en 1960 era de 75,000 ton se duplicó en 1970 tras el descubrimiento en 1964 de que las



resinas de furano obtenidas del alcohol furfurilico podian utilizarse en las industrias de fundición.

Debido a la creciente demanda de furfural en el mercado mundial para la producción de alcohol furfurilico, el mayor productor Q.O. Co., instala su cuarta planta en Belle Glade de 33,000 tpa alcanzando así en 1966 52,000 ton de capacidad (9,56).

Varios países instalan en esta década pequeñas fábricas, algunas de las que actualmente se encuentran fuera de operación, tal es el caso de Hungría (2,000 tpa) (9).

En 1968 México aumento la producción mundial con 1,800 ton anuales de furfural con tecnología propia.

En la siguiente década, 1970 a 1979 se instalan en el mundo 11 fábricas.

En 1973 España inicia la producción de furfural en una planta de 8,000 tpa (59) empleando como materia prima aceitunas y tusas de maíz, más adelante este país integraría 2 plantas adicionales elevando su capacidad de producción a 15,000 ton anuales (28).

Kenya (9,10,28,59) y Polonia (28,59) instalaron fábricas de 5,000 ton/año y Turquía y Hungría anunciaron en 1976 la construcción de fábricas de furfural de 2,000 tpa (9). La planta de Turquía cerró temporalmente en 1980 pero actualmente se encuentra de nuevo en operación (9,20).

Brasil construyó una planta con la tecnología mexicana y entró en marcha a mediados de 1975 (56); posteriormente elevó su capacidad de 2,000 a 3,500 ton/año (9) y además se convirtió en el primero y único país sudamericano productor de alcohol furfurilico. Serios problemas de contaminación por efluentes ocasionaron el paro de la planta de furfural en 1989 y consecuentemente cerró la planta de alcohol furfurilico (38).

Durante esta década se instalaron en China diversas plantas con una capacidad total de 7,000 ton/año (10) y Estados Unidos integra

su quinta planta alcanzando en 1976 100,000 ton anuales (54,56). Adicionalmente Yugoslavia empieza a ser productor de furfural con una planta de 2,000 ton anuales (59). Con la instalación de estas plantas y como consecuencia de otros aumentos, se estima que la capacidad total en 1976 experimentó un fuerte aumento alcanzando una cifra cercana a las 230,000 ton anuales.

Hasta 1900, se observa un comportamiento ascendente en la producción mundial, a partir de ese año, la demanda experimenta una ligera disminución que se estima se debe a que algunas compañías cerraron sus plantas y sólo se tiene conocimiento de tres países que integraron fábricas durante esta década.

En 1982 Chemiefaser Lenzing AG en Austria construyó una planta de 2,000 ton anuales (28). Esta compañía tiene capacidad de 115,000 ton de pulpa de sulfito y produce el furfural a partir de licores de sulfito que obtiene como residuo (9).

Con miras a diversificar su economía, dada la importancia que tiene en ese país la industria azucarera y la abundancia del bagazo como subproducto, Cuba ha destinado recursos a la investigación del furfural y sus derivados a través del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y actualmente cuenta con la tecnología para la producción de diversos derivados.

En julio de 1988 se inició en dicho país la operación de una planta para la producción de 1,000 ton/año de furfural con tecnología desarrollada por el ICIDCA, instalada en el Ingenio Amancio Rodríguez en la provincia de las Tunas (23,26). Actualmente se encuentra en construcción la segunda planta de furfural a partir de bagazo en este país en el Ingenio Jesús Suárez Gayol en la provincia de Camagüey (23), con dicha planta la capacidad se aumentará en 5,000 toneladas anuales. Además, se ha considerado en planes de desarrollo para el próximo quinquenio la ejecución de inversiones para tres nuevas plantas (20,26).

La India es uno de los países que cuenta con tecnología para la

producción de derivados del bagazo de caña entre los que se encuentra el furfural. La M/s Southern Agrifuran Industries Ltd, en el estado de Tamil Nadu, tiene una concesión para producir 6,000 ton anuales. Durante los primeros años de la década 70 esta compañía produjo pequeñas cantidades de furfural a intervalos irregulares pero actualmente produce 3,000 ton, cantidad que satisface los requerimientos de dos refinerías de petróleo, que es el principal uso que se le da al furfural en este país. Además, hay dos plantas a pequeña escala que operan con maquinaria hindú y que producen a razón de 1 ton/día, así mismo operan dos plantas también pequeñas que producen resinas furánicas a partir de furfural (33).

En la Tabla 17 puede observarse la capacidad de producción instalada actualmente en el mundo.

En la Gráfica 9 se muestra el desarrollo mundial de la producción desde 1950 hasta 1987, se observa un aumento significativo fundamentalmente en 1971, sin embargo en los últimos años se ha experimentado una ligera disminución que se debe probablemente a que no se han desarrollado nuevos usos de importancia comercial, unido a la disminución en su empleo en algunas industrias.

TABLA 17

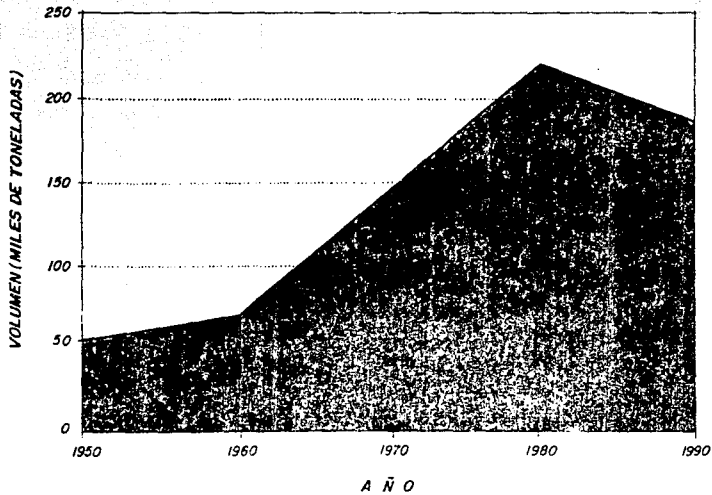
## CAPACIDAD MUNDIAL DE PRODUCCION DE FURFURAL.

REGION/PAIS	No. DE PLANTAS	CAPACIDAD DE PROD. (ton/año)
<b>AMERICA</b>		
Argentina	1	1,800
Brasil	1	7,000
Estados Unidos	3	60,000
México	1	3,000
República Dominicana	1	40,000
Cuba	1	1,000
<b>EUROPA</b>		
Austria	1	2,000
Bulgaria	1	1,000
Checoslovaquia	1	2,000
España	3	15,000
Francia	1	10,000
Hungría	1	2,000
Italia	2	8,000
Polonia	1	6,000
Rep. Federal Alemana	1	1,000
Rumanía	3	9,000
URSS	3	20,000
Yugoslavia	1	2,000
<b>ASIA</b>		
India	2	7,000
Rep. Popular China	4	30,000
Taiwan	1	6,000
Turquía	1	6,000
<b>AFRICA</b>		
Kenya	1	5,000
Sudáfrica	1	15,000
<b>TOTAL</b>	<b>37</b>	<b>255,800</b>

Fuente: ICIDCA, GEPLACEA, PNUD "Manual de los derivados de la caña azucar", 1990.

GRAFICA 9

DESARROLLO MUNDIAL DE LA PRODUCCION  
DE FURFURAL



#### 4.2 CONSUMO MUNDIAL DE FURFURAL.

Escher Wyss (39) estima el consumo mundial en 1980 de la siguiente forma:

- 50 % alcohol furfurílico
- 30 % plásticos
- 10 % solvente selectivo
- 10 % otros usos

Después de este año se desconoce la distribución del consumo pero se estima que en 1986 el 75 % de la producción mundial se destinaba a la obtención de alcohol furfurílico y actualmente al 40 % se le da ese uso, es decir aproximadamente 80 mil toneladas métricas/año (22).

El consumo mundial del furfural, sin embargo, ha disminuido debido al decremento en la actividad de las industrias que lo emplean como materia prima y a que ha sido reemplazado por otros productos como solvente selectivo y en la refinación de aceites lubricantes en los países industrializados.

Los principales países exportadores son República Dominicana, Republica Popular China, India, Filipinas y Yugoslavia. La Republica Dominicana exporta más del 80 % de su producción a sus principales mercados: Estados Unidos y Japón. Este último convierte el furfural importado a alcohol furfurílico y tetrahidrofurano para después exportarlo principalmente a Estados Unidos. Los precios de exportación en 1989 son 35.41 US dls/kg de alcohol furfurílico y 2.95 US dls/kg de tetrahidrofurano (57).

La distribución estimada de la demanda entre los principales países consumidores en 1986 puede resumirse como se indica a continuación:

Pais	Demanda (miles ton)
Estados Unidos	55
Comunidad Económica Europea	35
Otros países de Europa Occ.	17
Reino Unido	13
Japón	9
Otros	85
TOTAL	214

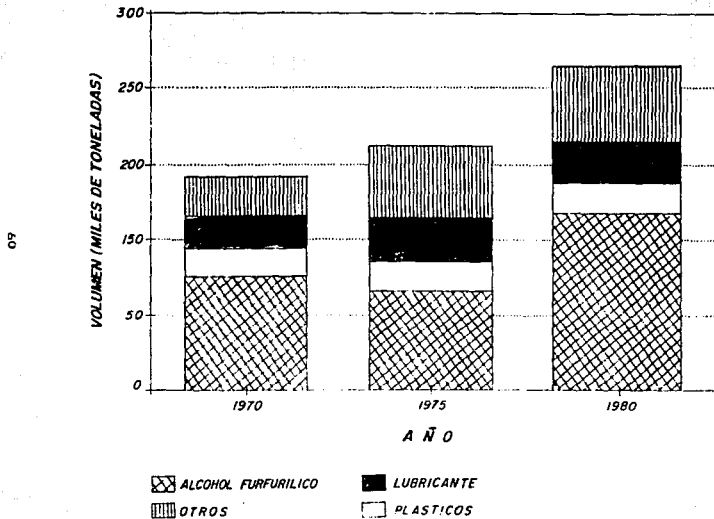
El Centro de Comercialización Internacional UNCTAD/GATT estimó que la capacidad mundial de producción alcanzó 230,000 ton/año en 1976 (56). Al final del decenio aumentó a 252,800, esto lleva a suponer que la demanda mundial en esa época fue mayor.

Lo anterior indica que la demanda ha disminuido aproximadamente un 7 % entre 1976 y 1986. Actualmente la capacidad instalada para la producción de furfural en el mundo supera a la demanda en más de un 20 %.

Por todos estos datos puede suponerse que la demanda futura del furfural continuará con tendencia a la baja, pues no se han dado a conocer recientemente nuevos usos de importancia relevante.

Sin embargo, Cuba a través del ICIDCA ha investigado y descubierto gran variedad de aplicaciones del furfural y sus derivados, principalmente en la obtención de resinas furánicas de gran calidad y propiedades para usos específicos, así como pulpas papeleras. Ha desarrollado la tecnología para producir muchos de ellos pero no le ha sido posible venderla debido al bloqueo económico de que es objeto dicho país. Hasta donde se sabe, es el único país que ha instalado plantas en los últimos años y que aun en sus planes de desarrollo incluye la construcción de tres nuevas plantas.

GRAFICA 10  
 DISTRIBUCION MUNDIAL DEL CONSUMO  
 DE FURFURAL





#### 4.3 PRECIO INTERNACIONAL.

La Quaker Oats Co., de los Estados Unidos ha ejercido una fuerte influencia sobre los precios del Furfural y sus derivados en el mercado mundial por su posición de mayor productor y comercializador internacional de estos productos.

En la Gráfica 11 se muestra el precio internacional del Furfural de 1972 a 1990, puede observarse un crecimiento a partir de 1974, año en que se registró el alza mayor del precio con 51 % de aumento con respecto al año anterior. La aceleración y magnitud de estos aumentos probablemente se debió a la fuerte demanda y a las crecientes dificultades de la oferta registradas durante ese mismo periodo.

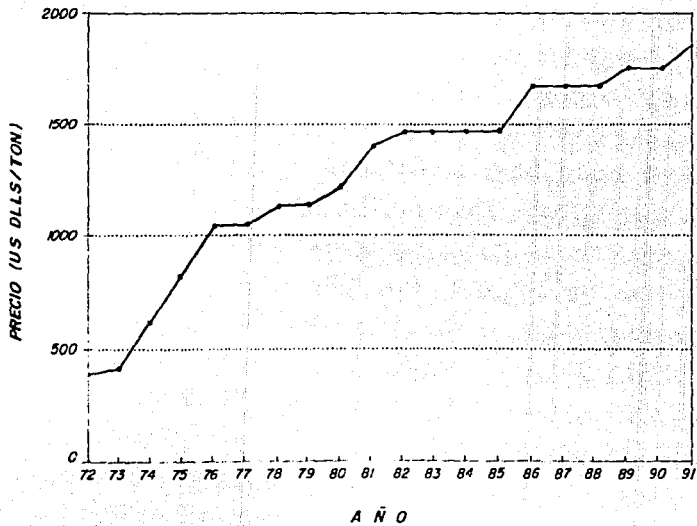
En diciembre de 1975 el precio tuvo un aumento adicional de 195 US dils/ton y en diciembre de 1977 aumentó a 1,130 US dils/ton. En enero de 1981 se registró otro aumento alcanzando 1,387 US dils/ton provocado por el aumento en los costos de combustible, materia prima y costos de operación.

En 1982 alcanzó los 1,450 US dils/ton y se mantuvo estable hasta 1985 en que se experimentó otro aumento hasta 1,650 US dils/ton precio que se mantuvo hasta 1988.

El último aumento registrado es el correspondiente a febrero de 1991 en 110 dils/ton, es decir, de 1,740 a 1,850 US dils/ton.

GRAFICA II

PRECIO INTERNACIONAL DEL FURFURAL



#### 4.4 CONSUMO DE FURFURAL EN ESTADOS UNIDOS.

Los Estados Unidos constituyen el mercado de furfural más importante entre todos los países industrializados, que globalmente son los principales consumidores. Este país en 1974 consumió unas 70,000 ton (16,17), en 1977 el consumo descendió a unas 50,000 ton mientras que todos los demás países de Europa Occidental absorbieron probablemente 65,000-75,000 ton (56). El consumo siguió bajando y en 1985 se redujo a 39,500 ton aproximadamente (16,17). La Gráfica 12 muestra el consumo de furfural en este país en 1974 y 1985, puede observarse que el consumo en la producción de alcohol furfurilico se ha reducido en un 6 %, mientras que el de tetrahidrofurano se ha duplicado; las exportaciones se limitan a volúmenes muy pequeños (menos de 1,000 ton).

El cierre de dos de las plantas de Quaker Oats Co., por razones no precisas, elimina excedentes para exportación y para satisfacer la demanda importa considerables volúmenes de la República Dominicana (57).

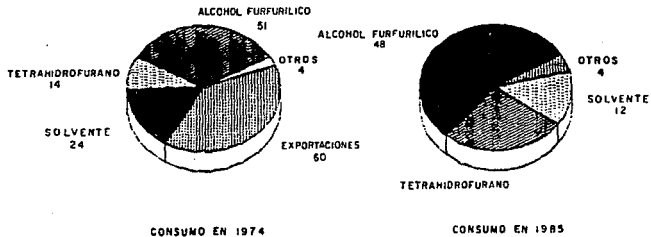
En la Tabla 18 se aprecian los volúmenes de importación por país de origen para los años 1986 a 1990.

El valor unitario medio de las importaciones, a precios corrientes fue de 0.89 US dls/kg en 1986 y 1987, sin embargo el valor del furfural mexicano fue de 1.02 US dls y descendió hasta 0.692 US dls/kg en 1989 (57).

GRAFICA 12

CONSUMO DE FURFURAL EN ESTADOS UNIDOS

64

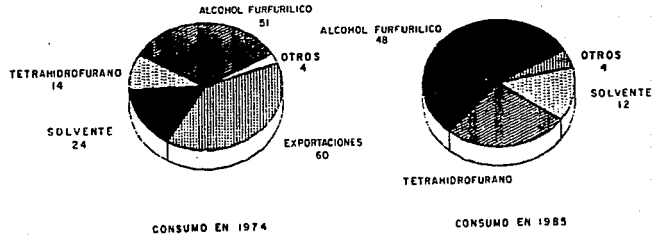


MILLONES DE LIBRAS

GRAFICA 12

CONSUMO DE FURFURAL EN ESTADOS UNIDOS

64



MILLONES DE LIBRAS

TABLA 18

IMPORTACIONES DE FURFURAL DE E.U.A  
POR PAIS DE PROCEDENCIA

ARO	PAIS	VOLUMEN (TON)	PRECIO DE IMPORTACION (US DLLS/KG)
1986	México	1,300	1.016
	Rep. Dominicana	1,743	0.880
	Argentina	357	0.725
	Rep. Sudafricana	522	0.875
1987	México	1,561	1.027
	Rep. Dominicana	298	0.603
	Rep. Sudafricana	944	0.761
	Otros		1.669
1989	México	522	0.692
	Rep. Dominicana	4,989	0.823
	Rep. Sudafricana	1,061	0.840
1990	Canada	4	0.353
	México	320	0.997
	Rep. Dominicana	4,060	0.812
	Reyno Unido	20	1.347
	Bélgica	1	5.490
	India	159	0.829
	R. P. China	535	0.708
Rep. Sudafricana	1,873	0.881	

Fuente: U. S. General Imports and Imports for Consumption.

En el próximo capítulo se presentan las tecnologías para la producción de furfural, así mismo se incluye un breve análisis de las mismas que permite determinar la más apropiada para ser empleada en México.

## **CAPITULO 5**

### **TECNOLOGIAS PARA LA PRODUCCION DE FURFURAL**



A escala industrial el furfural se obtiene mediante diversos procesos que pueden resumirse en tres variantes fundamentales:

1. Procesos discontinuos
2. Procesos continuos
3. Procesos secundarios de otras industrias

Los procesos discontinuos se caracterizan por el uso de un catalizador ácido externo que puede ser ácido sulfúrico o ácido fosfórico.

Los procesos continuos se caracterizan por no emplear catalizador externo, aprovechando el ácido acético formado a partir de los grupos acetilos presentes en la materia prima como catalizador de las reacciones que dan lugar a la formación de furfural.

Dentro del tercer grupo quedan comprendidos aquellos procesos en los que el furfural se obtiene como un subproducto de otras industrias que procesan materiales vegetales, como es el caso de la industria hidrolítica y la industria papelera.

A continuación se da una breve descripción de cada una de las tecnologías probadas industrialmente, se incluye también una tecnología desarrollada a nivel planta piloto por el Instituto Mexicano del Petróleo.

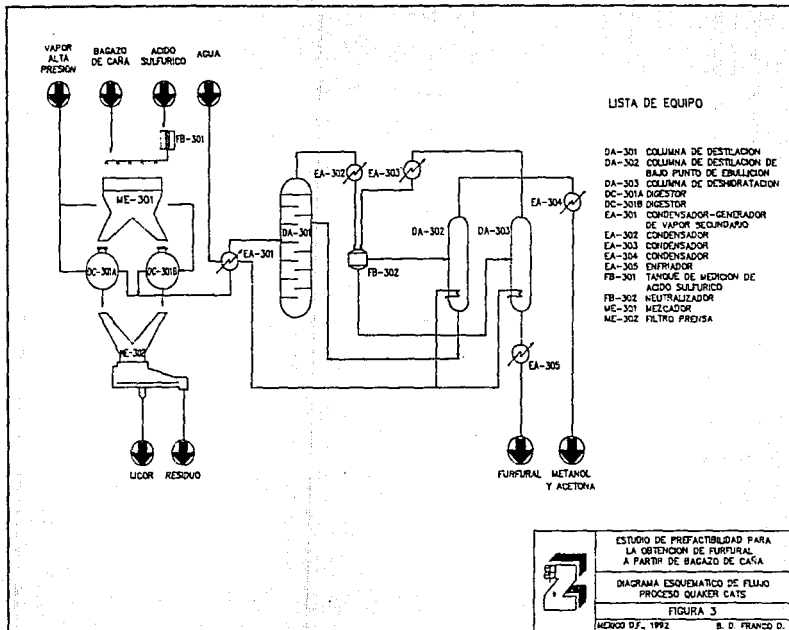
## 5.1 PROCESO QUAKER DATS.

La Quaker Dats Co., cuenta con la tecnología más avanzada, desde que inició su operación en 1922 ha dedicado recursos a la investigación y desarrollo descubriendo usos y aplicaciones del furfural y sus derivados y ha acumulado un buen número de patentes para mejorar el proceso de obtención; sin embargo, no prevee conceder licencias o vender su tecnología por lo que no ha proporcionado información detallada de su proceso inicial ni del que utiliza en la actualidad.

Se cuenta con escasa información de este proceso, que se muestra en la Figura 3 y se describe a continuación. En este proceso el furfural se obtiene en una sola operación.

La materia prima se mezcla con ácido sulfúrico diluido (ME-301) y se alimenta a los digestores rotatorios (DC-301A/B). Los digestores son grandes recipientes esféricos de acero recubiertos interiormente con ladrillo antiácido.

Los digestores giran lentamente mientras se introduce un flujo de vapor a temperatura de 153 °C y una presión de 4.2 kg/cm<sup>2</sup>, una vez alcanzadas las condiciones de presión y temperatura se abren las válvulas de salida y el furfural formado es arrastrado por el vapor. Los vapores se condensan (EA-301) y alimentan a una columna de destilación (DA-301), el producto rico en furfural, (contiene, además, compuestos de bajo punto de ebullición como metanol y acetona) se condensa (EA-302) y decanta (FB-302). La capa superior se envía a destilación de bajo punto de ebullición (DA-302) donde metanol y acetona son eliminados como subproductos, la corriente del fondo se recircula a la columna de destilación (DA-301) para recuperar el furfural. La capa inferior del decantador rica en furfural (92-94 %) se envía a la columna de deshidratación (DA-303) en la que el furfural seco se obtiene por el fondo.



## 5.2 PROCESO ESCHER WYSS.

En la Figura 4 se presenta un diagrama de una instalación para la producción de furfural utilizando el proceso continuo Escher Wyss, dividido en las etapas de hidrólisis y destilación de furfural. En este proceso puede recuperarse ácido acético.

Este proceso se inicia con la desaereación de la materia prima (FB-401) mediante vapor secundario calentándose a cerca de 100 °C, impregnándose, al mismo tiempo con una solución que contiene el catalizador ácido acético (FB-402).

Tras este tratamiento la materia prima se introduce continuamente en el reactor (DC-401), mediante una válvula rotatoria especialmente diseñada.

El modelo del equipo utilizado depende de la contextura de la materia prima. Las materias primas granuladas, como el zuro de maíz, las astillas de madera y de la cascara de avellana, se transportan desde un recipiente fuselado de forma cilíndrica o cónica hasta la válvula rotatoria por medio de una rampa vibratoria o un tornillo tubular sin fin. Las materias primas fibrosas como el bagazo, se tratan previamente en un sistema de tornillos de paletas y se envían al reactor por un conducto de alimentación provisto de un tornillo sin fin (ME-401)

El producto de la reacción es furfural y ácido acético, el vapor que los contiene se filtra para eliminar las partículas sólidas arrastradas, los vapores se condensan (EA-401) y enfrían (EA-402). Los condensados se desaerean, filtran y se recolectan en un tanque de almacenamiento intermedio (FB-404).

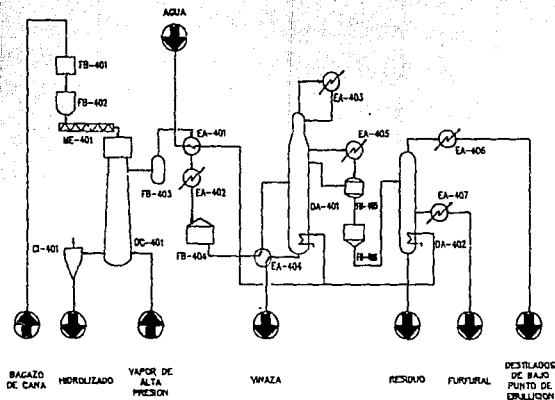
El residuo sólido se descarga bajo presión, a través de una válvula especialmente diseñada, a un separador ciclónico (CI-401).

La mezcla acuosa de Furfural y ácido acético se bombea a una torre de destilación de baja presión de ebullición (DA-401), operada a

presión atmosférica.

Los vapores de metanol y acetona salen por el domo de la columna y se condensan, enfrían y recolectan. Una corriente lateral contiene un azeótropo de furfural y agua (35% furfural), se decanta (FB-405). La capa superior contiene cerca de 84% de furfural y se drena a un tanque (FB-406) donde se neutraliza por la adición de solución de sosa o carbonato de sodio. El furfural neutralizado se recolecta en un tanque intermedio.

El furfural crudo contiene cerca de 16% de agua y se bombea al deshidratador (DA-402) operado a presión reducida. El vapor del domo que contiene agua y furfural se condensa y separa formando nuevamente dos capas. La capa inferior rica en furfural se mezcla con la corriente de alimentación al deshidratador. La capa inferior, pobre en furfural se mezcla con el condensado furfural-ácido acético. El furfural puro se extrae de la columna de furfural como una corriente lateral, se condensa y enfría.



## LISTA DE EQUIPO

- CI-401 SEPARADOR CICLONICO  
 DA-401 COLANA DE FURFURAL  
 DA-402 DESHIDRATADOR  
 DC-401 REACTOR  
 CONDENSADOR-GENERADOR  
 DE VAPOR SECUNDARIO  
 EA-401 REFRIGERADOR  
 EA-402 REFRIGERADOR  
 EA-403 REACTOR  
 EA-404 REFRIGERADOR  
 EA-405 REFRIGERADOR  
 EA-406 REACTOR  
 CONDENSADOR-GENERADOR  
 DE VAPOR SECUNDARIO  
 EA-407 REFRIGERADOR  
 FB-401 DEAREADOR  
 FB-402 PRECALEFACCION  
 FB-403 TANQUE SEPARADOR  
 FB-404 TANQUE DE CONDENSADOS  
 FB-405 DECONTADOR  
 FB-406 TANQUE NEUTRALIZADOR  
 ME-401 TRANSPORTADOR DE  
 TORRELLON



ESTUDIO DE PREFACTURIDAD PARA  
 LA OBTENCION DE FURFURAL  
 A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO  
 PROCESO CROWER W355

FIGURA 4

MEXICO D. F., 1992 B. D. FRANCO D.

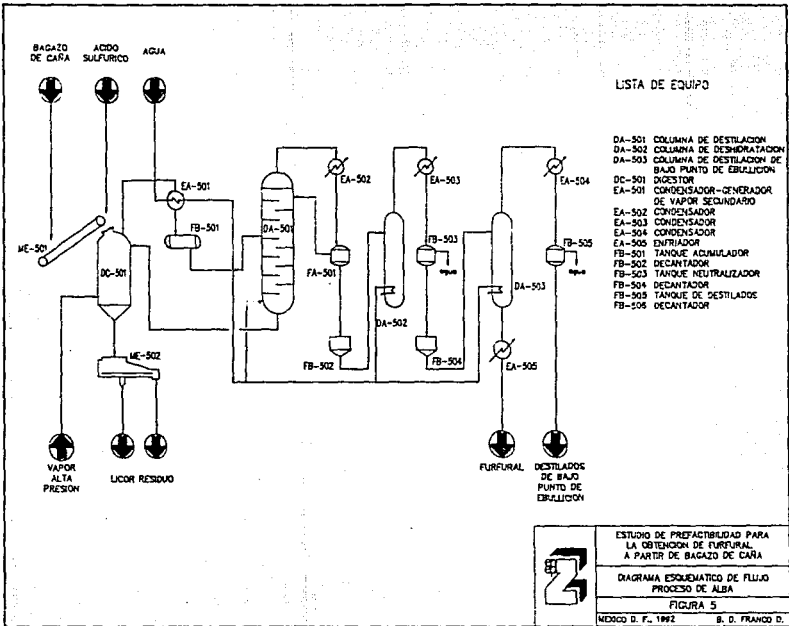
### 5.3 PROCESO DE ALBA.

La materia prima sin tratamiento previo se introduce a los digestores (DC-501 A/B), en los que se impregna con ácido sulfúrico diluido. Se alimenta una corriente de vapor para calentar la carga hasta una temperatura de 170 °C y 10 atm de presión. Después de aproximadamente 1 hora 20 min de reacción empieza a obtenerse el furfural. En ese momento se abre la válvula colocada en la parte superior de los digestores y se permite la salida de los vapores saturados de furfural, los que se condensan (EA-501) formando una solución azeotrópica de composición 65 % furfural-35% agua.

Esta solución se alimenta a una columna de destilación azeotrópica (DA-501); a esta columna se introduce vapor de baja presión, obteniéndose por la parte superior vapores ricos en furfural, al pasar por otra serie de intercambiadores de calor (EA-502) y en un decantador (FB-501) se separan en dos capas, la capa superior contiene 6 % de furfural y la inferior 8 % de agua.

La capa superior se recircula a la columna de destilación (DA-501) y la inferior se almacena (FB-502) para pasar posteriormente al proceso de purificación, en el que inicialmente se neutraliza (FB-503) con una solución de carbonato de calcio y se conduce a una columna de vacío (DA-502) en donde se separan las breas de alto punto de ebullición y posteriormente las fracciones de bajo punto de ebullición, formadas principalmente por alcoholes y agua, quedando como producto final el furfural. En la Figura 5 se muestra un diagrama esquemático de flujo de este proceso.

74



LISTA DE EQUIPO

- DA-501 COLUMNA DE DESTILACION
- DA-502 COLUMNA DE DESHIDRATACION
- DA-503 COLUMNA DE DESTILACION DE BAJO PUNTO DE EBULLESCION
- DC-501 DIGESTOR
- EA-501 CONDENSADOR-GENERADOR DE VAPOR SECUNDARIO
- EA-502 CONDENSADOR
- EA-503 CONDENSADOR
- EA-504 CONDENSADOR
- EA-505 ENTRADOR
- FB-501 TANQUE ACUMULADOR
- FB-502 DECANTADOR
- FB-503 TANQUE NEUTRALIZADOR
- FB-504 DECANTADOR
- FB-505 TANQUE DE DESTILADOS
- FB-506 DECANTADOR

	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA OBTENCION DE FURFURAL A PARTIR DE BAGAJO DE CAÑA
	DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO PROCESO DE ALBA
	FIGURA 5
MORCO D. F., 1992	B. D. FRAHCO D.



#### 5.4 PROCESO ROSENLEW.

Este es un proceso continuo y autocatalítico, basado fundamentalmente en la utilización de ácidos orgánicos débiles (acético, levulinico, etc.) como catalizadores. Las condiciones óptimas de tiempo de residencia en el reactor permiten controlar los problemas de corrosión e intercrystalización de los aceros, si bien se requieren temperaturas y presiones de operación superiores respecto a aquellos procesos que aplican ácidos fuertes. El uso de ácidos orgánicos débiles en el proceso hace que se requieran cantidades reducidas de sales para la neutralización del pH.

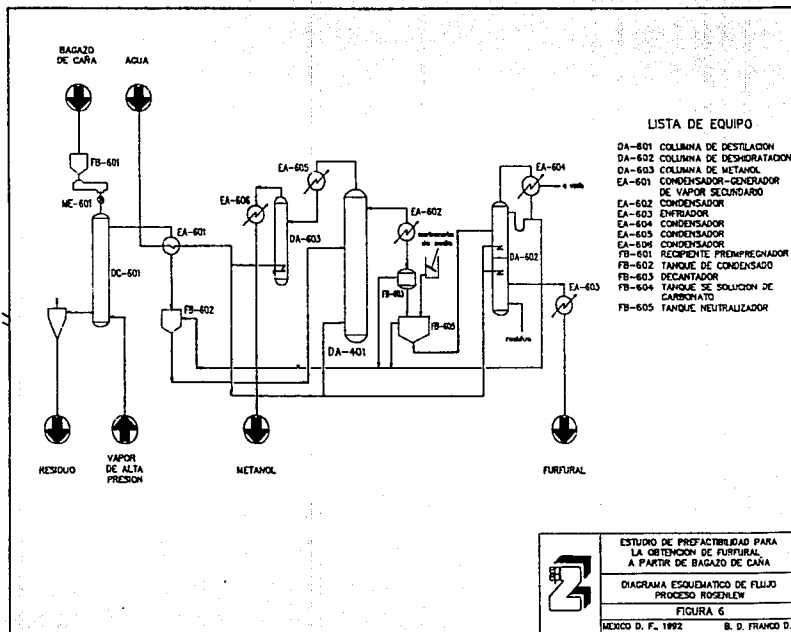
El diseño considera módulos de 2,500 toneladas anuales de furfural, por lo que la producción puede aumentarse en múltiplos de la producción modular. El proceso consiste en las siguientes operaciones:

1. Alimentación del material
2. Preimpregnación
3. Hidrólisis
4. Tratamiento del residuo
5. Concentración de la solución diluida de furfural
6. Refinación de furfural
7. Separación de subproductos
8. Almacenamiento de los productos.

La materia prima se lleva al preimpregnador (FB-601), transportándose posteriormente al reactor (DC-601), por medio de un alimentador rotatorio, en donde una válvula rotatoria y una dosificadora, se alimenta en forma continua al reactor, al que se inyecta vapor precalentado para efectuar la hidrólisis. El tiempo de permanencia de material crudo en el reactor va de una a dos horas. Durante la hidrólisis se forman ácido acético y pequeñas cantidades de ácido fórmico. Los vapores con alto contenido de furfural se condensan (EA-601) y se llevan al tanque para furfural diluido (FB-602). De este tanque el furfural es llevado a la columna de destilación (DA-601), en contracorriente con vapor secundario inyectado en el fondo de la columna.

En esta fase se rompe el azeótropo formado por 35 % de furfural y 65% en peso de agua, se condensa la solución (EA-602) y se lleva a un tanque decantador (FB-603), donde se inyecta una solución de carbonato de sodio para la neutralización. El líquido recibido en el decantador está formado por dos capas: la superior es agua con 77 % de furfural y la inferior es furfural al 95% aproximadamente. Se separan las capas y la superior (77 % de furfural) se recircula al tanque para furfural diluido, mientras que la otra se purifica por destilación al vacío en una columna (DA-602), se elimina el resto de agua obteniéndose así el furfural puro que es llevado al tanque de almacenamiento.

La fracción de bajo punto de ebullición proveniente de la primera destilación (DA-601) pasa a una torre de destilación fraccionada de cuyos vapores, una vez condensados (EA-606) se obtiene metanol industrial y acetona técnica. El destilado del fondo consistente de agua y furfural se regresa al tanque para furfural diluido. En la figura 6 aparece un diagrama esquemático de este proceso.



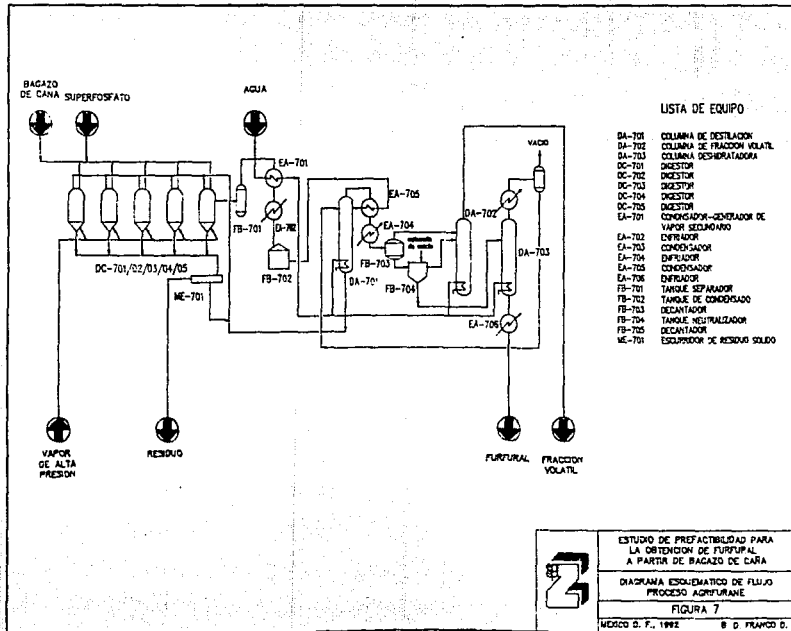
	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA OBTENCION DE FURFURAL A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA
	DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO PROCESO ROSENBLUM
	FIGURA 6

MEXICO D. F., 1992      B. D. FRANCO D.

## 5.5 PROCESO AGRIFURANE.

El proceso Agrifurane (Figura 7) es muy semejante al resto de los procesos discontinuos, con la característica fundamental de usar fosfato de calcio como catalizador.

Se utilizan varios reactores cilíndricos (DC-701/05) que se calientan después de cargados con el material y añadida la solución de ácido fosfórico. Cuando el material ha sido agotado en su contenido de furfural, se condensan los vapores (FB-702) y alimentan a una columna de destilación (DA-701) en la que se obtienen vapores ricos en furfural los que se condensan (EA-702/03), entran y decantan (FB-705). La capa inferior, que tiene gran contenido de furfural, se purifica neutralizando (FB-706) y deshidratandola (DA-702) para obtener así el furfural técnico. Las corrientes con bajo contenido de furfural, obtenidas del decantador (FB-705) y de la columna de deshidratación (DA-702) se envían a una columna de fracciones volátiles (DA-703). El residuo sólido de los digestores se envía a un escurridor recirculando la fracción líquida a uno de los digestores.



**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA  
LA OBTENCION DE FURFURAL  
A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FLUJOS  
PROCESO AGRUPADO

FIGURA 7

MARZO D. F., 1992

B. D. FRANCO S.

## 5.6 TECNOLOGIA IMP.

El Instituto Mexicano del Petróleo ha desarrollado un proceso discontinuo para la producción de furfural que consta básicamente de tres etapas: Acondicionamiento de materia prima, sección de reacción o digestión y purificación. En la Figura 8 se ilustra el diagrama de proceso.

La primera etapa de acondicionamiento de materia prima depende de la materia seleccionada. En el caso de bagazo de caña, el almacenamiento se realizaría en forma de pacas, las cuales se transportarían una vez pesadas por medio de una banda provista de cuchillas desmenuzadoras antes de la entrada a los digestores.

La sección de digestión consiste básicamente en llevar a efecto la hidrólisis Ácida de los pentosanos a pentosas y posteriormente la deshidratación de éstas a furfural.

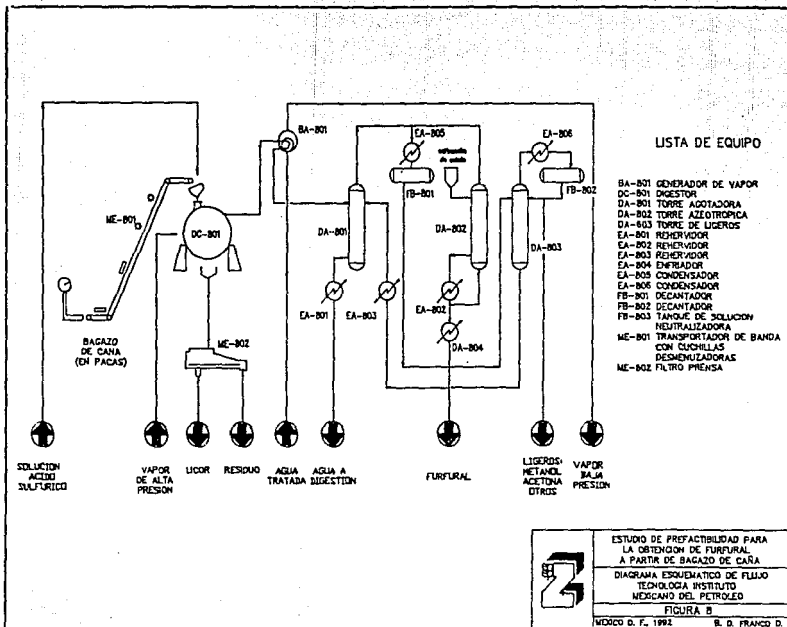
Esta tecnología puede emplear como materia prima cualquier residuo agrícola que contenga pentosanos, sin embargo se ha probado con los que se indican a continuación obteniendo el rendimiento señalado.

Materia prima	Rendimiento de furfural (%)
Olote de maíz	59
Bagazo de caña	56
Cascarilla de avena	29
Cascarilla de arroz	63

Para el desarrollo de la tecnología fue necesario realizar numerosos experimentos a nivel planta piloto para estudiar los efectos de las variables que intervienen en el proceso y determinar las condiciones óptimas de operación para obtener los máximos rendimientos y calidad del furfural con los menores consumos de vapor para obtener un proceso atractivamente económico.

P

La etapa de purificación comprende el tratamiento de los vapores de agua-furfural mediante un sistema de destilación-decantación-destilación del cual se obtienen las máximas cantidades y concentración del furfural como producto, que cumple con las especificaciones de solvente selectivo de extracción de compuestos aromáticos de los aceites lubricantes.

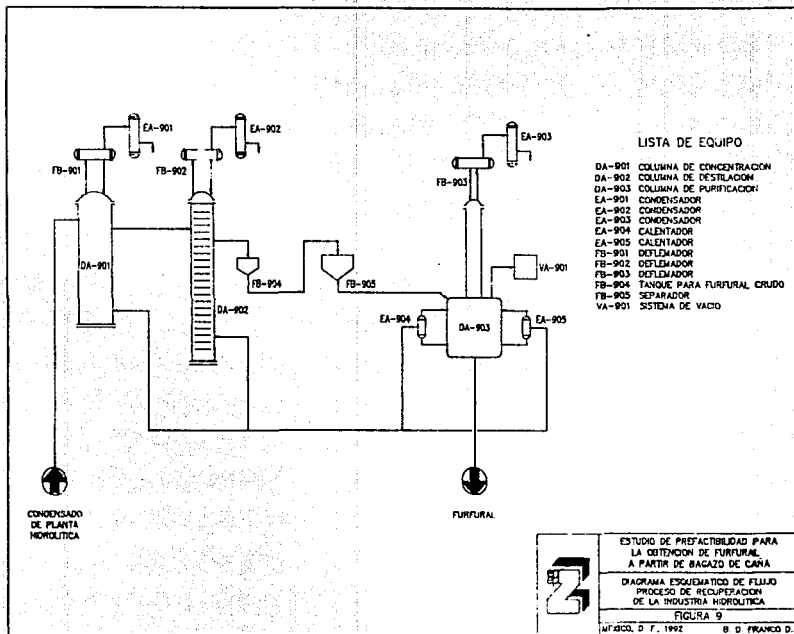




## 5.7 RECUPERACION DE FURFURAL DE LA INDUSTRIA HIDROLITICA.

En la industria hidrolítica mediante hidrólisis de residuos forestales, agrícolas y de la elaboración de la madera, se producen azúcares, que pueden utilizarse como sustrato de fermentaciones industriales como la producción de levaduras forrajeras, alcohol y otros. En los procesos de hidrólisis, al tratar los materiales señalados que generalmente contienen pentosanos, no todos estos pentosanos se transforman en azúcares de cinco átomos de carbono, pues una parte de ellos se transforma en furfural y aparece disuelto en los licores provenientes de los hidrolizados. Este furfural contamina esos licores de azúcar, puesto que inhiben los procesos fermentativos, por ello deben eliminarse de esos licores de la siguiente manera: al efectuarse la hidrólisis el hidrolizado es autoevaporado en tanques especiales de hidrólisis. En esta autoevaporación se consigue la recuperación de calor latente de los licores y además la separación por evaporación del furfural.

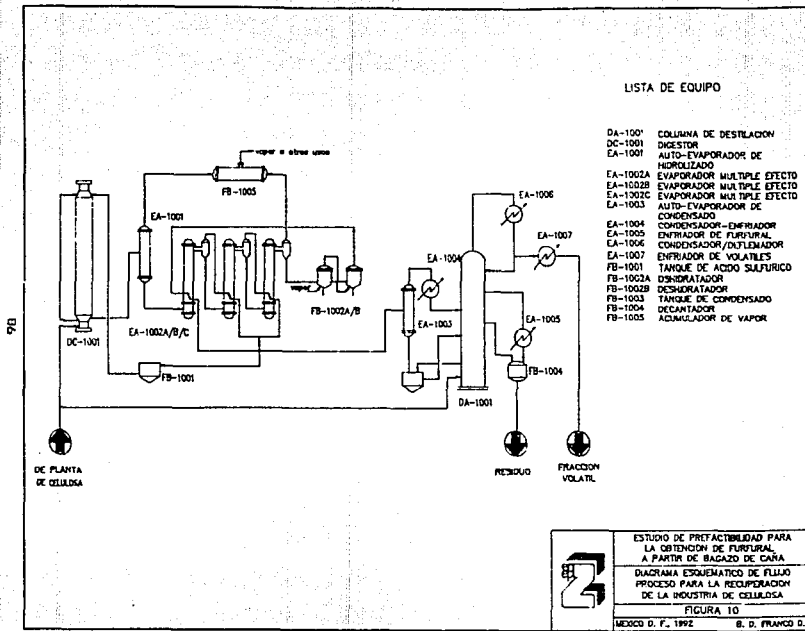
El furfural evaporado se condensa y es purificado de forma similar a la descrita anteriormente. En una planta que se procesen unas 60,000 ton anuales de materias celulósicas para la producción de levaduras forrajeras, pueden recuperarse de 500 a 750 ton de furfural. El diagrama esquemático de flujo de este proceso se muestra en la Figura 9.



## 5.8 RECUPERACION DE FURFURAL DE LA INDUSTRIA DE PULPAS CELULOSICAS.

En el proceso de cocción para la elaboración de pulpas químicas y semiquímicas por tecnología fundamentalmente ácida, aunque también sucede en la predigestión "Kraft", las hemicelulosas se transforman en furfural, porque las hemicelulosas de maderas duras y coníferas son principalmente pentosanos.

Este furfural se condensa y después se purifica en forma similar a como fue descrita en la recuperación de furfural de la industria hidrolítica. El diagrama de flujo aparece en la Figura 10.



LISTA DE EQUIPO

- DA-1001 COLUMNA DE DESTILACION
- DC-1001 DIGESTOR
- EA-1001 AUTO-EVAPORADOR DE HIDROLIZADO
- EA-1002A EVAPORADOR MULTIPLE EFECTO
- EA-1002B EVAPORADOR MULTIPLE EFECTO
- EA-1002C EVAPORADOR MULTIPLE EFECTO
- EA-1003 AUTO-EVAPORADOR DE CONDENSADO
- EA-1004 CONDENSADOR-ENFRIADOR
- EA-1005 ENFRIADOR DE FURETURAL
- EA-1006 CONDENSADOR/DELEUMADOR
- EA-1007 ENFRIADOR DE VOLATILES
- FB-1001 TANQUE DE ACIDO SULFURICO
- FB-1002A DESHIDRATADOR
- FB-1002B DESHIDRATADOR
- FB-1003 TANQUE DE CONDENSADO
- FB-1004 DECANTADOR
- FB-1005 ACUMULADOR DE VAPOR

	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA OBTENCION DE FURETURAL A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA
	DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO PROCESO PARA LA RECUPERACION DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA
	FIGURA 10
MECOO D. F., 1992	B. D. FRANCO D.

## 5.9 SELECCION DE LA TECNOLOGIA.

Uno de los objetivos del Programa Diversificación GEPLACEA/PNUD es lograr un alto grado de integración nacional, este es el factor principal que inclinaria hacia la utilización de la tecnología mexicana, sin embargo hay otros aspectos que reafirman dicha decisión.

El Banco Interamericano de Desarrollo (41) presentó una comparación de aspectos técnicos y financieros de las tecnologías mexicana (De Alba) y finlandesa (Rosenlew) que permite concluir lo siguiente:

1. El rendimiento para la tecnología mexicana es mayor: 11.7 % contra 10.8 % de la tecnología finlandesa, por lo que se requiere menor cantidad de bagazo por tonelada de furfural producido.
2. Los costos de insumos y servicios auxiliares requeridos por ambas son muy similares.
3. La inversión requerida por la tecnología finlandesa es aproximadamente 3 veces mayor que para la tecnología mexicana.
4. Los costos de producción también son mayores para la tecnología finlandesa.

Las características de la tecnología mexicana, algunas de las cuales ofrecen ventajas sobre las otras, son las siguientes:

1. Puede trabajar con diversas materias primas, tales como olote de maíz, bagazo de caña, cascarrilla de café, avena y algodón entre otros, además de que no se requiere un tratamiento previo.
2. No requiere de digestores rotativos ni de ningún dispositivo de agitación mecánica, con lo que disminuye la inversión en activos fijos.
3. La mayor parte del equipo necesario en el proceso es de fabricación nacional, por lo que por una parte no existe salida de divisas por compras al exterior y por otra no se depende de importaciones para la obtención de refacciones para mantenimiento.

4. No se requiere mano de obra altamente especializada.
5. El residuo puede ser sencillamente retornado a las calderas como combustible, ya que se recupera un 85 X de la materia prima procesada.
6. El furfural obtenido cumple con las especificaciones de calidad de la American Society for Testing of Materials (ASTM).
7. Puede estar disponible para cualquier empresa o institución que desee explotarla.

Por lo anterior, se consideró la tecnología mexicana de Luis de Alba Martínez para realizar un estimado del costo de producción del furfural, que se presenta en el siguiente Capítulo.

**CAPITULO 6**  
**ESTIMADO DEL COSTO DE PRODUCCION DE FURFURAL**

#### 6.1 ESTIMADO DEL COSTO DE PRODUCCION DE FURFURAL.

En el presente Capitulo, se ofrece un estimado preliminar del costo de producción del furfural, que estableciendo comparaciones con los precios de venta en los mercados nacional e internacional permita apreciar, desde el punto de vista económico, la posibilidad de producción de furfural en México.

El estimado se realizó considerando la tecnología mexicana, que es con la que opera Furfural y Derivados, S.A., como se ha mencionado con anterioridad.

Se considera una capacidad de 2,500 ton/año, ya que es la unidad de producción de furfural más pequeña posible desde un punto de vista económico (17).

El monto de la inversión se estimó actualizando el costo presentado en una propuesta, en 1973, por el Ing. Luis de Alba Martínez, autor de la tecnología, con índices de Marshall & Swift, y aunque la escalación por índices no es recomendable para periodos mayores de 5 a 10 años, se comparó con un estimado presentado por el Dr. R. English en 1989 (17) para la recuperación de furfural mediante un proceso discontinuo muy similar al proceso De Alba.

Los requerimientos de insumos y servicios auxiliares se tomaron del estudio presentado por el Banco Interamericano de Desarrollo (41).

El resto de los costos directos y los indirectos se estimaron como porcentajes de la inversión fija, y de algunos otros costos directos, de acuerdo con las recomendaciones de la literatura.

El costo de producción obtenido (1,960 US dls/ton) es mayor que el precio tanto en el mercado nacional como en el internacional, por lo que este es otro factor que sugiere la inconveniencia de producir furfural en México.



ESTIMADO DEL COSTO DE PRODUCCION DE FURFURAL

FECHA: MARZO 1992		PRODUCTO:	FURFURAL
		PROCESO:	DISCONTINUO
		DIAS DE OPERACION:	330
		PRODUCCION ANUAL:	2,500 TON
INVERSION FIJA	4,500,000 US DLLS		
MATERIAS PRIMAS	UNIDAD	CANTIDAD ANUAL	COSTO UNITARIO US DLLS
BAGAJO	TON	31,250	27.88
ACIDO SULFURICO	KG	23,114	7.74
TOTAL MATERIAS PRIMAS			1,050,152
C O S T O S   D I R E C T O S			
SERVICIOS AUXILIARES			
VAPOR ALTA PRESION	TON	79,200	7.70
VAPOR BAJA PRESION	TON	---	---
AGUA DE PROCESO	M3	625,000	0.18
ELECTRICIDAD	KWH	1,250,000	0.04
COMBUSTIBLE	M3	4,565	145.16
GAS INERTE		---	---
AIRE COMPRIMIDO		---	---
REFRIGERACION		---	---
MANO DE OBRA DIRECTA			520,000
SUPERVISION	20 % MANO DE OBRA DIRECTA		104,000
CARGOS POR NOMINA	40 % (M.O.D. + SUPERVISION)		249,600
MANTENIMIENTO	6 % INVERSION FIJA		270,000
SUMINISTROS DE OP.	0.5 % INVERSION FIJA		22,500
LABORATORIO	15 % MANO DE OBRA DIRECTA		78,000
CONTINGENCIAS	3 % COSTOS DIRECTOS		82,846
COSTOS DIRECTOS TOTALES			2,761,538
C O S T O S   I N D I R E C T O S			
DEPRECIACION	10 % INVERSION FIJA		450,000
IMPUESTOS	1.5 % INVERSION FIJA		67,500
SEGUROS	0.75 % INVERSION FIJA		33,750
OVERHEAD	60 % (M.O.D. + SUPERV. + MANTENIMIENTO)		536,400
COSTOS INDIRECTOS TOTALES			1,087,650
COSTO TOTAL DE PRODUCCION			4,899,141
COSTO DE PRODUCCION, 10N FURFURAL			1,960

## **CAPITULO 7**

### **CONCLUSIONES**

## **CAPITULO 7**

### **CONCLUSIONES**

La industrialización de los derivados de la caña de azúcar permiten hacer más estables las economías de producción azucarera asegurando una diversificación de los mercados de venta y mejores márgenes de utilidad.

En México, el principal uso que se da al bagazo es como combustible en las propias fábricas de azúcar.

La posibilidad de producción de furfural se analizó en el presente trabajo obteniéndose lo siguiente:

1. El mercado nacional se satisface con la producción nacional y volúmenes cada vez menores de importaciones, en los últimos años se ha logrado exportar el producto. La demanda presenta una ligera tendencia ascendente; el consumo se divide entre la refinación de aceites lubricantes por parte de PEMEX y otros usos diversos de la industria privada.
2. La instalación de una planta depende de la posibilidad de aumentar el consumo de dicho producto mediante planes de difusión y promoción de sus diversos usos algunos de ellos ya conocidos en otros países pero que no han sido suficientemente aprovechados en México.
3. La captura del mercado de los principales derivados no parece ser factible pues el consumo del alcohol furfúrico ha ido en descenso, no así el del tetrahydrofurano que ha aumentado en México y Estados Unidos, por lo que es recomendable analizar la situación actual de dicho producto.
4. En el mercado mundial el consumo de furfural ha disminuido debido a que no se han desarrollado nuevos usos y ha sido reemplazado en algunos de ellos. Actualmente, se tiene capacidad de producción mayor a la demanda mundial.
5. En los países industrializados se ha reducido su consumo para la extracción de butadieno y en la refinación de aceites lubricantes. En la tecnología existente de refinación no puede

reemplazarse dicho producto, por lo que para algunos países en vías de desarrollo y del tercer mundo sería incostruable reemplazarla, tal es el caso de México y de la India.

Considerando todos estos puntos se concluye que debido al pequeño aumento en la demanda nacional y a la carencia de mercados para exportación no es recomendable la instalación de una planta de furfural en México.

También se concluye que para buscar la estabilidad la economía azucarera mexicana es recomendable analizar otras posibilidades que ofrezcan condiciones económicas más favorables.

## ANEXOS

ANEXO A

FACTORES A CONSIDERAR EN LA VIABILIDAD DE UNA ALTERNATIVA.

Disponibilidad de materias primas y energía	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Caña de azúcar</li><li>2. Azúcar</li><li>3. Residuos agrícolas</li><li>4. Bagazo</li><li>5. Miel final</li><li>6. Mielles intermedias</li><li>7. Jugos diluidos</li><li>8. Cachaza</li><li>9. Residuales</li><li>10. Energía</li><li>11. Otras materias primas y materiales</li></ol>
Financiamiento y fuente de suministro	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Financiamiento nacional</li><li>2. Suministro nacional</li><li>3. Financiamiento exterior</li><li>4. Suministro exterior</li></ol>
Tecnología, equipamiento y construcción	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Origen de la tecnología y del equipamiento</li><li>2. Integración nacional de tecnología</li><li>3. Capacidad de asimilación tecnológica</li><li>4. Integración nacional de equipamiento</li><li>5. Capacidad de construcción y montaje</li></ol>
Indicadores económicos y de demanda.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Tiempo de respuesta productiva</li><li>2. Índice de revalorización</li><li>3. Economía de escala</li><li>4. Respuesta a demanda nacional</li><li>5. Fondo exportable o sustitución de importaciones</li></ol>

Fuente: ICIDCA "Manual de los Derivados de la caña de azúcar", 1990  
Gálvez, L. "Azúcar, Derivados y Diversificación", Boletín  
DEPLACEA 4(18),11-19 (1987)

## BIBLIOGRAFIA



1. Alvarez A., Castro, J. "Uso de las resinas furánicas en la formulación de pinturas y lacas". Experiencias Mundiales. Suplemento ICIDCA 1,12-19 (1985).
2. Alvarez A. et al. "Algunas consideraciones sobre la catalisis de alcohol furfurilico en presencia de reguladores de enriquecimiento". Suplemento ICIDCA. 1,20-25 (1985).
3. Alvarez A. et al. "Propiedades de resistencia química de la madera impregnada con alcohol furfurilico". Revista ICIDCA 25(3),23-26 (1989).
4. Anaya M. et al. "Características del cemento antiácido furilico (CAF). Suplemento ICIDCA 2,3-4 (1985).
5. Azúcar, S.A. de C.V. "Estadísticas Azucareras", (1980-1990).
6. Castro A. et al. "Aplicación del alcohol furfurilico y de poliéster a la confección de plásticos reforzados con fibra de vidrio para su utilización en embarcaciones". Suplemento ICIDCA 4,6-8 (1985).
7. Celso A. "Perspectivas de Programas Nacionales en América Latina y el Caribe para el desarrollo de una industria de derivados". Boletín GEPLACEA, 4(4),25-33 (1987).
8. Chemical Abstracts, (1972-1990).
9. Chemical Economic Handbook SRI Internacional. E.U.A., (1981).
10. Chemical Economic Handbook SRI Internacional. E.U.A., (1986).
11. Chemical Industries Notes, (1985-1990).
12. Day, R. "Como escribir y publicar trabajos científicos" Washington, D.C. Organización Panamericana de la Salud, (1990).
13. De Armas, C. "Bagazo como combustible". Ed. Científico-Técnica. La Habana, (1980).
14. De la Osa, D. "El furfural como aglutinante en la industria de la fundición". Revista ICIDCA. 19(1),63-67 (1985).
15. De la Osa, G. "Influencia del contenido de urea y la temperatura en la síntesis de la resina alcohol furfurilico-formaldehído-urea". Suplemento ICIDCA 1,6-11 (1985).
16. Dunlop, A. P., Peters, F.N. "The Furans". ACS Monograph 119, Reinhold Publishing Corp. New York, (1953).

17. English, R. "La producción de furfural en los Estados Unidos de América y sus mercados". El impacto de los productos y subproductos de la industria azucarera en las industrias periféricas. México D.F., (1989).
18. English, R. "Utilization of baggase for chemical recovery: Furfural". International Sugar Cane Seminars. Miami, (1986).
19. Furfural y Derivados, S.A. Información personal.
20. Gálvez, L. "Azúcar, derivados y diversificación". Boletín GEPLACEA. 4(11),11-19 (1987).
21. GEPLACEA. Información Azucarera. Boletín GEPLACEA 4(12),5 (1987).
22. GEPLACEA. "Elementos técnico-económicos para la producción de furfural a partir de bagazo de caña", 5(12),13-16 (1988).
23. GEPLACEA. Información Azucarera". Boletín GEPLACEA 7(5),8 (1990).
24. GEPLACEA. "Derivados del bagazo de caña de azúcar", Boletín GEPLACEA, 7(9),11-13 (1990).
25. González, J. "Polímeros Furánicos". Ed. Científico-técnica. La Habana, (1986).
26. Herryman, M. et al. "Características y nivel de desarrollo de la industria de derivados del bagazo en Cuba". II Seminario Internacional sobre Azúcar y derivados de la caña. La Habana, (1990).
27. Herryman, M. et al. "Situación nacional del bagazo. Su revaloración como materia prima para la industria de derivados del bagazo en Cuba". II Seminario Internacional sobre Azúcar y derivados de la caña. La Habana, (1990).
28. ICIDCA "Manual de los derivados de la caña de azúcar". GEPLACEA/PNUD. 2a. ed. México, (1990).
29. Instituto Mexicano de Comercio Exterior. Dirección General de Estadística. Anuarios (1980-1990).
30. Kirk, Othmer. "Encyclopedia of Chemical Technology". 3a. ed. John Willey and Sons. New York, (1980).
31. Lawler, G. M. et al. "Chemical Origins and Markets". Gloria M. Lawler Editor. E.U.A., (1986).
32. López, B. "Problemas asociados a la preparación y suministro de bagazo a las plantas de derivados". Revista ICIDCA 11(2-3),82-91 (1977).

33. Manohar, P. "Estado Actual de las industrias de subproductos de la caña de azúcar en India. Boletín GEPLACEA 6(4), 3 -5 (1989).
34. McKetta, J. "Encyclopedia of Chemical Processing and Design". Marcel Dekker Inc. E.U.A., (1986).
35. Morrison, T. Boyd, N. "Química Orgánica". Fondo Educativo Interamericano. E.U.A., (1976).
36. Noa, H. "Aspectos económicos de la industrialización de los derivados de la caña de azúcar". Revista ICIDCA 15(2-3), 54-65 (1981).
37. Noa, H. "La industrialización de los derivados como apoyo a la economía de la producción azucarera". Revista ICIDCA, 11(2-3), 9-26 (1977).
38. Noa, H. Información personal.
39. Ocampo, G. "Desarrollo de la producción de furfural a partir de bagazo". Revista ICIDCA 11(2-3), 55-81 (1977).
40. Ortiz, A. "desarrollo tecnológico para la obtención de furfural". El impacto de los productos y subproductos de la industria azucarera en las industrias periféricas. México D.F., (1990).
41. Pérez, L.; Pérez, J., "Análisis Microeconómico de las características del cambio tecnológico del proceso de innovaciones. El caso de Furfural y Derivados, S.A.". BID/CEPAL, (1978).
42. PEMEX. Memorias de labores (1986).
43. PEMEX. Memorias de labores (1990).
44. PEMEX. Ordenes de compra a Furfural y Derivados, S. A., (1985-1987).
45. Peters, M.; Timmerhaus, K. "Plant Design and Economics for Chemical Engineering". McGraw Hill, 2a. ed. E.U.A. (1968).
46. Piloto, C. et al. "Estudio de agentes estabilizadores de las resinas carbamídicas furánicas-formol". Suplemento ICIDCA 4(1), 33-38 (1985).
47. PROMT. (1980-1990).
48. Ramos, I.; López, R. "Problemas y perspectivas de la producción y el mercado de furfural". Revista ICIDCA 19(1), 27-33 (1985).

49. The Quaker Oats Co. "QO Furfural, General Information, Applications, Properties, Handling". QO Chemicals Inc. Formerly a Division of the Quaker Oats Co. Boletín sin número.
50. The Quaker Oats Co. Boletín 201-0 "QO Chemicals Inc. General Information, Properties and Applications, Additional References". QO Chemicals Inc.
51. The Quaker Oats Co. Boletín sin número. "QO Furfural Specifications".
52. The Quaker Oats Co. Boletín 201-C "General Information about QO" Chemicals Inc.
53. The Quaker Oats Co. "QO Furfural, Material Safety Data Sheet". QO Chemicals Inc., (1985).
54. The Quaker Oats Co. QO Furan Chemicals. "A bottle of furfural, please". Boletín sin número. QO Chem. Inc., (1982).
55. U.N.A.M. "Perfiles químico tecnológicos" 3a. ed. México D. F. (1985).
56. UNCTAD/GATT "Fabricación y comercialización del furfural", Ginebra, (1979).
57. U.S. Department of Commerce. General Imports and Imports for Consumption. (1986-1990).
58. Villar, J. et al. "Productos de la hidrólisis de los derivados de la caña de azúcar". Ed. Científico-técnica. La Habana, (1982).
59. Young, M. "Producción de furfural". Ed. Científico-técnica. La Habana, (1982).