



Escuela de Ciencias Químicas

**ESTUDIO TECNICO - ECONOMICO SOBRE  
LA INDUSTRIALIZACION DE LA JOJOBA**

**INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

**Que para obtener el Título de**

**INGENIERO QUIMICO**

**Presenta**

**Oscar Conrado Osorio Robles**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNOLOGICAS**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## INDICE

	Pag.
INTRODUCCION . . . . .	1
RESUMEN . . . . .	2
ANTECEDENTES . . . . .	4
Propiedades del Aceite de Jojoba . . . . .	4
Usos del Aceite de Jojoba . . . . .	7
DIAGRAMA DE FLUJO, LISTA DE EQUIPO Y DESCRIPCION DEL PROCESO . . . . .	9
ESTUDIO TECNICO . . . . .	18
Balance de Materia . . . . .	18
Balance de Energía . . . . .	22
Cálculo de Capacidad de la Caldera . . . . .	26
Cálculo del Espacio de la Planta y Edificios . . . . .	29
Cálculo del Consumo de Energía Eléctrica . . . . .	30
Selección del Equipo . . . . .	33
EVALUACION ECONOMICA . . . . .	43
Inversión Total . . . . .	43
Capital Fijo . . . . .	43
Capital de Trabajo . . . . .	43
Costos de Producción y Gastos Generales . . . . .	48
Costos de Producción . . . . .	48
Costos Directos . . . . .	48
Costos Indirectos . . . . .	50
Gastos Generales . . . . .	51
Análisis Financiero . . . . .	52
Utilidades . . . . .	52
Inversión Total . . . . .	53
Rentabilidad . . . . .	53
Tiempo Teórico de Recuperación . . . . .	53
Punto de Equilibrio . . . . .	54
CONCLUSIONES . . . . .	57
BIBLIOGRAFIA . . . . .	58

## INTRODUCCION

La jojoba (*Simmondsia chinensis*) es un arbusto que se desarrolla en forma natural en los litorales del Estado de Sonora, Baja California y en el Suroeste de Estados Unidos de América.

El fruto de esta planta, es una cápsula ovoide, trilocular y acuminada que tiene una sola semilla de color café rojizo. La semilla está envuelta en un tegumento fuerte, café claro; cada semilla pesa de 0.5 a 1.5 gr y de 0.8 a 1.25 cm de espesor, el contenido de aceite fluctúa entre 40 y 60%.

La jojoba es una planta que se puede cultivar con muy poca cantidad de agua dulce, y de acuerdo a estudios hechos, se puede regar con agua que contenga un contenido no muy alto de salinidad; debido a estas características y ventajas, está tomando gran auge el cultivo de esta planta.

El aceite de jojoba, producto del procesamiento de la semilla, como todos los aceites, contienen impurezas tales como ácidos grasos libres y fosfátidos, los cuales dependiendo de los usos que al aceite se le dan, tienen ó no que ser eliminados.

El objetivo del presente trabajo, es evaluar la viabilidad económica de la instalación de una planta, procesadora de semilla de jojoba.

## RESUMEN

— Existe gran demanda de aceite de jojoba tanto en el mercado nacional como en el internacional, pero debido a que no se cuentan con cantidades considerables de siembra de jojoba, que influye en la poca cantidad de producción de semillas de jojoba, no es muy grande la cantidad de aceite de jojoba que se produce; por lo tanto, se buscará un mercado en el cual se consuma poco aceite de jojoba pero que su utilidad, económicamente hablando, sea alta. Este mercado es el de cosméticos o productos de belleza.

En la industria de los aceites como en cualquier otra industria, la costeabilidad de la operación depende del precio de venta del producto y de la demanda existente, suponiendo que el volúmen de operación es el adecuado para los costos de producción en que se incurra.

Estan muy generalizados en este tipo de industrias los contratos de premios y castigos, en los cuales se estipulan estandares mínimos de calidad para la venta, en base a los cuales se premia o se castiga el precio base fijado por el contrato, según sea la calidad del producto a vender. Los estandares mínimos de calidad de un aceite son: color del aceite refinado (2.8 R - 35°A), color del aceite blanqueado (0.3 R - 10°A), aceite crudo filtrado (7.2 R - 70 A) donde R es rojo, A es amarillo, datos obtenidos por investigaciones

hechas en el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

En base a que se quiere producir un aceite que cuente con mejor o igual calidad que el que se encuentra en el mercado, este aceite se someterá a diferentes tratamientos. Estos tratamientos influyen en el alto costo de producción, por lo tanto se hará un estudio económico para poder evaluar que utilidad se obtendrá en la industrialización de la jojoba. El estudio económico comprenderá todos los costos que se efectúan en el proceso, los cuales son:

Inversión de capital

Materia prima

Mano de obra

Servicios auxiliares

Ganancias netas

Utilidad bruta

Depreciación

Impuestos

y todos los demás aspectos que se incluyen en un estudio económico.

## ANTECEDENTES

### Propiedades del Aceite de Jojoba

Greene y Foster fueron los primeros en determinar la composición química y propiedades físicas del aceite de jojoba. Compararon en composición y propiedades físicas con otros aceites animales y vegetales y llegaron a la conclusión de que era diferente a todos los aceites excepto al aceite de esperma de ballena (Tablas Nos. 1, 2, 3). El aceite de jojoba no es una grasa sino una cera líquida, ya que una grasa en su molécula contiene glicerol esterificado por tres moléculas de ácidos grasos, en cambio el aceite de jojoba está compuesto de un alcohol de cadena larga monoinsaturados esterificado con un ácido graso de cadena larga monoinsaturado (21).

Mc kinney y Jamierison (10) confirmaron los descubrimientos hechos por Greene y Foster. Más tarde Miwa (11) determinó la composición química del aceite de jojoba por cromatografía de gases, corroborando una vez más la naturaleza del aceite.

El aceite de jojoba está compuesto de esterés de alto peso molecular los cuales son extraordinariamente resistentes a cualquier forma directa de saponificación (12), ácidos de cadena recta monoetilénicos y alcoholes monoetilénicos.

Tabla No. 1\* Comparación de la Esperma de Ballena con el Aceite de Jojoba.

Compuestos	Esperma de Ballena	Aceite de Jojoba
Esteres	95.4%	96.23%
Alcoholes libres	2.6%	1.11%
Acidos grasos libres	1.2%	0.96%

Tabla No.2\* Propiedades Físico-Químicas del Esperma de Ballena

Punto de fusión	27. a 43°C
Acidos grasos libres	2 %
Número de ácido	4
Número de iodo	25 a 133
Número de saponificación	123 a 133
Alcoholes libres insaponificables	40 a 47%

\* Fuente:

Bernnet 1975  
 Industrial Waxes Vol. I  
 Chemical Company Inc.  
 New York, N.Y.

Tabla No.3 Propiedades Físico-Químicas del Aceite de Jojoba.

Índice de refracción a 25°C	1.4648
Gravedad específica 25°/ 25°	0.8642
Número de iodo (Hanus)	81.7
Valor de saponificación	92.2
% de materia insaponificable	48.3
Número de iodo insaponificable (Rosemund-Kuhnheim)	77.2
Valor de iodo de alcoholes	77
Ácidos saturados (Bertram)%	1.64
Número de iodo total (Hanus) de ácidos grasos	76.1
Valor de neutralización del total de los ácidos grasos	172.0
Glicerina	0
Punto de ebullición a 757 N2	398°C
Punto de vaporización (COC)	295°C
Punto de humeo (AOCS Cc 9a - 48)	195°C
Viscosidad 25°C	37 CP
Constante dieléctrica (27°C)	2.68
Temperatura mínima de fluidización (Pour Point)*F	50
Número de neutralización	0.57
Punto de fusión	6.8-7°C

\* Fuente:

Westor B. Knoepfler and L.E. Vix, Febrero 1958  
 Agricultural and Food Chemistry  
 Vo. 6 No.2 Pag. 118

lubricantes (13, 18). Ya que es capaz de soportar altas presiones y temperaturas sin oxidarse y sin que varíe apreciablemente en su viscosidad. Por estas propiedades puede ser usado como lubricante en aparatos que trabajen a condiciones rigurosas de presión y temperatura y en la industria de alimentos. El valor de ácido máximo permitido es de 0.056 (17.21).

2. En Transformadores:

Debido a la baja constante dieléctrica del aceite de jojoba puede ser usado como aceite de transformadores (17).

3. Como Cosmético:

Se puede utilizar en forma de crema como un agente terapéutico para la excreción excesiva de las glándulas sebáceas. En la elaboración de cosméticos como shampoo, cremas, lápiz labial, etc. El aceite debe contener menos de 1 de valor de ácido (14).

4. En Alimentos:

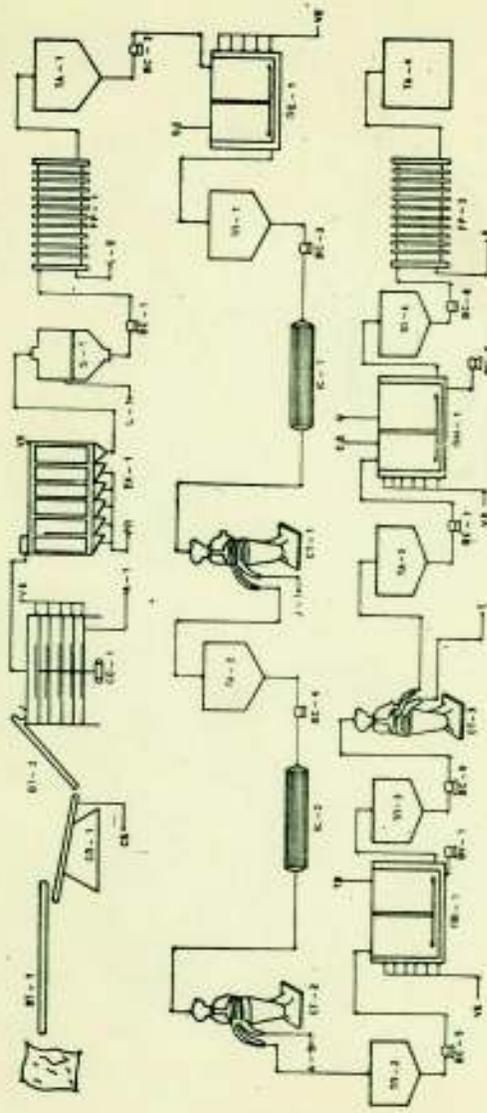
El aceite de jojoba no es asimilado por el organismo humano, por esta razón puede utilizarse como un aceite dietético, además tiene un magnífico sabor. De esto podemos partir para suponer un sinnúmero de aplicaciones como elemento de mezcla con otros aceites comestibles y encerados de

de alimentos (22). El valor de ácido máximo permitido es de 0.1 (1).

Diagrama de Flujo, Figura No. 1

Lista de Equipo: A continuación se da una lista del equipo usado en los diferentes tratamientos a los que se somete el aceite de jojoba.

Cantidad	Descripción
2	Bandas transportadoras
4	Motores
1	Cribadora
1	Cocedor
1	Expeller
1	Tanque sedimentación
1	Reactor emulsionador
2	Intercambiador de calor
3	Centrifugas
1	Reactor hidrogenador
2	Filtro-prensa
1	Reactor blanqueador
4	Tanque de almacenamiento
4	Tanques de retención
2	Bombas de vacío
8	Bombas centrífugas
1	Caldera
1	Compresor de aire



• SIMBOLOGIA SENCILLAS	• SIMBOLOGIA COMPLETADA	• SIMBOLOGIA SIGNIFICADO
BT-1	TRACTOR	TOTAL DE MAQUERO
BT-2	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-3	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-4	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-5	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-6	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-7	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-8	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-9	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-10	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-11	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-12	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-13	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-14	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-15	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-16	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-17	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-18	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-19	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-20	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-21	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-22	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-23	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-24	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-25	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-26	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-27	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-28	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-29	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-30	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-31	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-32	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-33	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-34	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-35	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-36	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-37	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-38	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-39	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-40	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-41	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-42	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-43	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-44	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-45	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-46	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-47	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-48	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-49	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-50	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-51	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-52	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-53	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-54	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-55	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-56	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-57	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-58	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-59	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-60	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-61	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-62	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-63	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-64	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-65	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-66	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-67	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-68	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-69	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-70	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-71	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-72	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-73	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-74	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-75	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-76	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-77	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-78	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-79	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-80	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-81	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-82	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-83	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-84	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-85	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-86	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-87	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-88	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-89	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-90	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-91	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-92	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-93	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-94	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-95	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-96	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-97	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-98	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-99	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS
BT-100	TRACTOR	TOTAL DE BATERIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
 UNIVERSIDAD DE GUAYMA  
 INSTITUTO TECNICO-ECONOMICO  
 COMITÉ DE INVESTIGACIONES DE LA JUNTA  
 NACIONAL DE TILOS  
 COMISION DE TILOS  
 INVESTIGACION QUIMICA  
 1952-1953

**Descripción del Proceso:**

Proceso de Extracción, Refinación, Blanqueo e Hidrogenación del Aceite de Jojoba.

1. Extracción (9)

a) Preparación de la Materia Prima.

Con el propósito de facilitar el descascarillado de la semilla y evitar pudrición una vez recolectada, esta se somete a un proceso de secado el cual se realiza directamente al sol, distribuyendo la semilla a una densidad de  $1.6 \text{ lb/ft}^2$  con un espesor aproximado de dos pulgadas, removiéndola por lo menos una vez al día. El secado se efectúa en un período de 3 a 4 días.

La semilla ya seca se criba para eliminar cascarilla y basura.

b) Cocción

La cocción se realiza en un cocedor cilíndrico, abierto en la parte superior. Este cocedor está provisto de una chaqueta de vapor y consta de dos cámaras, una para cocido y otra para secado, ambas provistas por un agitador mecánico. La distribución de vapor es adecuada para una distribución completa en el lecho de la semilla.

Para efectuar la cocción, la semilla se precalienta a  $60^\circ\text{C}$ , utilizándose para este propósito la chaqueta de calentamiento. Este precalentamiento se lleva a cabo en 20 minutos. Una vez precalentada la semilla se le adiciona vapor directo durante un período de 10 minutos. En esta

parte se alcanza la temperatura de 90 a 95°C. Una vez cocida la semilla, se somete a secado el cual se consigue calentando el cocedor con la chaqueta y utilizando para esto vapor. La humedad de salida debe estar en un rango de 4 a 6%.

#### c) Extracción Mecánica del Aceite

La extracción mecánica del aceite de jojoba, se lleva a cabo en un expeller provisto de un motor eléctrico cuya polea gira a 600 rpm la cual comunica al tornillo "sin fin" una velocidad de 30 a 35 rpm.

Cuando la semilla tiene la humedad adecuada, se recibe en el expeller por medio de una tolva y se inicia el proceso de prensado. Para que el sistema se estabilice, se necesita una pequeña cantidad de semilla. Durante el período de estabilización, la flecha del tornillo del expeller se ajusta hasta conseguir el espesor de pasta deseado. Una vez estabilizado el sistema la expresión de la semilla se lleva a cabo normalmente obteniéndose por un lado aceite crudo y por otro pasta residual.

#### d) Filtrado

El filtrado se lleva a cabo en un filtro-prensa equipado con una motobomba. El aceite que es recogido del expeller pasa directamente a un tanque de sedimentación en donde por decantación se separan los lodos del aceite crudo el cual se filtra en el equipo antes mencionado.

## 2. Refinación. (15).

### a) Saponificación

Las variables de operación que intervienen en la saponificación de los ácidos grasos libres del aceite de jojoba (12) son: temperatura, tiempo, por ciento de exceso de hidróxido de sodio y agitación. La agitación se fija como una constante. Asegurando un valor que mantenga al sistema bien agitado.

### b) Solución de hidróxido de sodio

La concentración de la solución de hidróxido de sodio tiene influencia en la saponificación, si se tiene una solución de concentración elevada de hidróxido de sodio (mayor de 18° Baumé) puede atacar fácilmente al ester; en cambio, si la solución es muy diluída (menor de 12° Baumé) la cantidad excesiva de agua puede ocasionar la formación de una emulsión difícil de romper. Sin embargo el ester del aceite de jojoba es muy resistente a la saponificación, por ello se usará una solución de hidróxido de sodio de 18° Baumé.

### c) Rompimiento de emulsión

El rompimiento de emulsión se observa a una temperatura cercana a la de 60°C, por lo que se considerará esta como una constante. La agitación deberá ser leve y es necesaria únicamente con el propósito de mantener la temperatura homogénea en el sistema.

### d) Separación aceite-jabón

Esta separación se efectúa por decantación y por

#### e) Lavado

La temperatura de lavado corresponde a la temperatura de rompimiento de emulsión. La cantidad de agua en cada lavado es de 10% del volúmen total del aceite (2).

#### f) Secado

El secado del aceite se efectúa a 100°C y a vacío de 27" de Hg.

### 3. Blanqueo (15)

El blanqueo se desarrolla bajo las siguientes condiciones: a) Blanqueado

Las variables de operación que intervienen en el proceso de blanqueo son: temperatura de 80 a 150°C, % de tierras de blanqueo de 0.5 a 3%, agitación y tiempo de 20 minutos.

#### b) Filtrado

El filtrado se efectúa con filtro-prensa en el cual por un lado se obtendrá el aceite blanqueado libre de impurezas y por el otro las tierras usadas para el blanqueo, las cuales son Tonsil-Optimun; también se usa la centrífuga para la separación de impurezas con el fin de obtener aceite limpio y libre de humedad.

### 4. Hidrogenación (4).

La literatura sobre la hidrogenación del aceite de jojoba es poca y superficial. En una patente asignada de Taunslry se da un ejemplo donde la jojoba es hidrogenada a 225°F 6 250 psig usando una mezcla de catalizador conteniendo 2/3 de níquel y 1/3 de cobre, el producto final se

asemeja al aceite de esperma, Warth (1956) reporta que el aceite de jojoba puede ser fácilmente hidrogenado por un producto similar al de la hidrogenación de aceite de algodón y que el producto resultante consiste en grandes perlas lustrosas.

La investigación más reciente sobre hidrogenación de aceite de jojoba se ha hecho por Wisniak y Holin en Israel (24) y por Thomas K Miwa (13) en Estados Unidos.

Las condiciones de la hidrogenación reportadas por Wisniak y Miwa difieren totalmente, como lo podemos apreciar en la Tabla No.4.

El equipo que se usará para llevar a cabo el proceso consiste en un reactor tipo tanque agitado, provisto de controlador automático de temperatura para calentamiento de 0-400°C y serpentín de enfriamiento, de agitador de velocidad variable de 0-1000 rpm tipo turbina modificada y de medidor de presión de 0-2000 psig.

Como equipo auxiliar se usará una bomba de vacío y un filtro acondicionado para calentamiento eléctrico, con el objeto de evitar solidificación del producto durante la filtración.

Durante el curso de la reacción se seguirá determinando el índice de iodo de las muestras según la técnica de Wijs (AOCS- Cd 1-25).

Como catalizador se usa el producto G-53, de Gilder Chemical Inc., cuya composición es la siguiente: 25% de ni-

Tabla No.4            Condiciones de Hidrogenación  
de Aceite de Jojoba.

Parámetro	Wisniak	Miwa
Presión	100-200 psig.	2000 psig.
Temperatura	90-100°C	150 °C
Catalizador	G - 53	G - 53
Concentración de Caralizador	3 g/lt	5 g/lt
Tiempo	15-30 min.	2-3 hrs.

endurecido a cebo como protector. El hidrógeno utilizado es de 99.95% de pureza.

El proceso se lleva a cabo bajo las siguientes condiciones: a) el tiempo de reacción se fija en dos horas; b) la agitación se fija a 850 rpm considerada como suficiente para mantener la dispersión; c) el volúmen de aceite utilizado en todas las corridas fué constante.

Secuencia a seguir para la hidrogenación del aceite de jojoba: a) se carga el reactor con el aceite y el catalizador, esta última cantidad es según la corrida de que se trate; b) se enciende el calentamiento y se fija la temperatura deseada; c) se enciende la agitación, fijando las rpm a los que se quiere trabajar. La agitación en este paso, es con el único fin de estabilizar más rápidamente la temperatura fijada; d) cuando la temperatura es cercana a la fijada, se detiene la agitación y se procede a hacer vacío; e) después de haber hecho vacío en el sistema, se enciende de nuevo la agitación; f) una vez que se ha estabilizado la temperatura fijada, se procede a la admisión de hidrógeno al reactor, la presión dependerá de la corrida de que se trate; a partir de este momento se cuenta el tiempo de reacción. La presión debe mantenerse constante durante toda la corrida esto se logra controlando el flujo de hidrógeno con la válvula de admisión de hidrógeno al reactor. La temperatura también se debe mantener constante la cual se logra operando el sistema de enfriamiento del reactor; g) se toman las

muestras de 20, 40, 60, 90 y 120 minutos una vez transcurridas las 2 horas se detiene la reacción, despresurizándose el reactor; h) se descarga el reactor y se procede a su limpieza; i) las muestras tomadas durante las corridas se filtran con el fin de separar el catalizador que lleve la cera; j) se procede a la determinación del índice de iodo de cada una de las ceras (Técnica de determinación del índice de iodo AOCS-Cd 4-25).

### Balance de Materia

Se alimentará 1 tonelada de semilla de jojoba por turno de 8 horas.\*

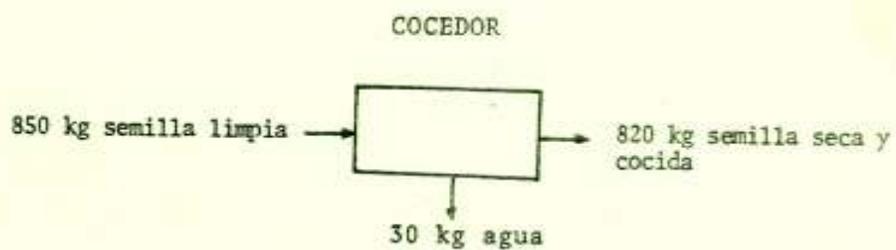
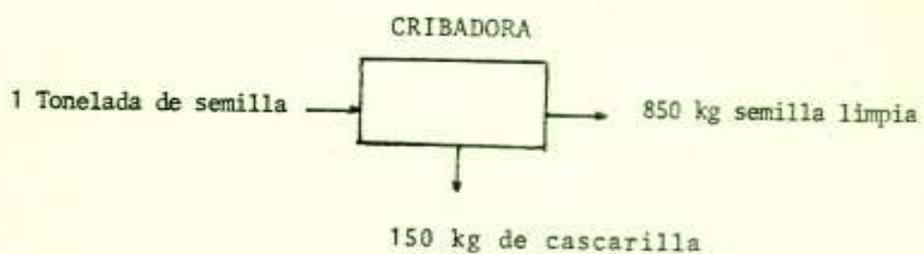
Contenido de semilla de jojoba:

40 - 60 % aceite

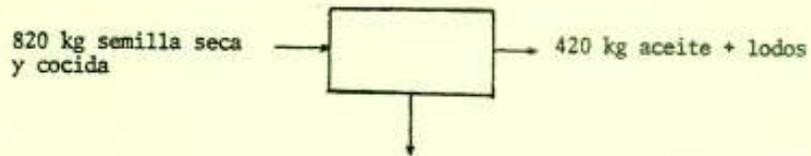
15% cascarilla y basura

4 - 6% humedad

% Restante es de pasta residual

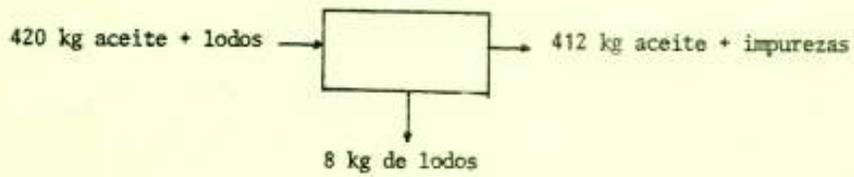


## EXPELLER

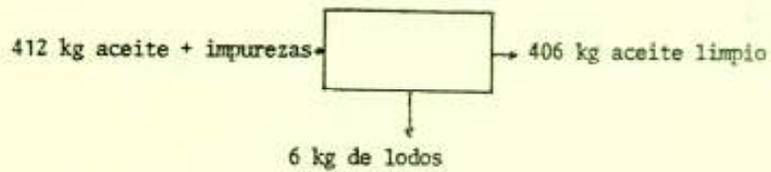


400 kg: 5% agua  
8% aceite  
87% pasta residual

## TANQUE SEDIMENTADOR



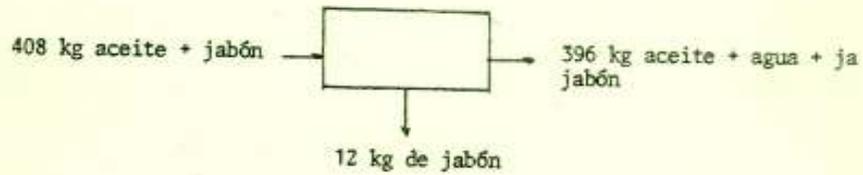
## FILTRO-PRESA



REACTOR EMULSIONADOR



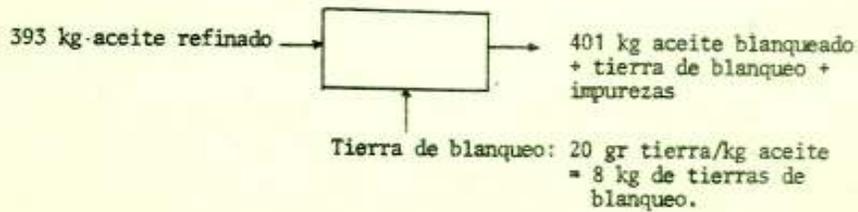
CENTRIFUGA



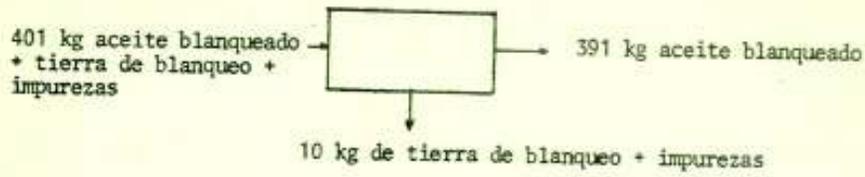
CENTRIFUGA



REACTOR BLANQUEADOR

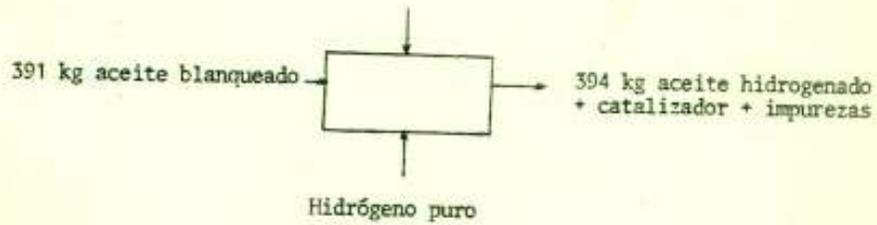


## CENTRIFUGA

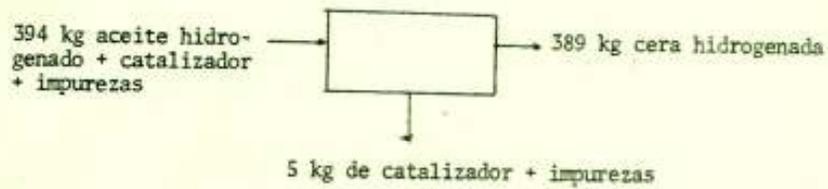


## REACTOR HIDROGENADOR

Catalizador: 7 gr catalizador/kg aceite  
= 3 kg



## FILTRO-PRENSA



Al salir el aceite o cera del filtro-prensa, este se manda a un tanque de almacenamiento, en el cual permanecerá hasta su venta.

Se recomienda comparar todas las corridas que se hagan desde el punto de vista económico, para poder decidir en una base técnica-económica, cual es la óptima y así obtener mayores utilidades en el proceso de la industrialización de la jojoba.

\* Se considera la alimentación de 1 tonelada de semilla de jojoba/turno debido a que la materia prima con que se cuenta es muy poca; pero ya se cuenta con grandes extensiones de siembra de jojoba y la producción aumentará hasta dentro de 4 años logrando que para entonces se pueda aumentar la capacidad de producción de la planta procesadora de semilla de jojoba

#### Balance de Energía

El balance de energía estará referido al calor agregado ó eliminado en cada uno de los tratamientos a los que se somete al aceite de jojoba para poder obtener las condiciones establecidas.

- $Q_1$  = Calor agregado a la semilla de jojoba para el precalentamiento y cocimiento de la misma
- $Q_2$  = Calor alimentado al intercambiador para lograr aumentar la temperatura del aceite y romper la emulsión.
- $Q_3$  = Calor alimentado a la centrífuga para aumentar la fuerza centrífuga y lograr que se separe el jabón del aceite

- $Q_4$  = Calor alimentado al intercambiador para lograr aumentar la temperatura del aceite y formar la emulsión aceite-agua.
- $Q_5$  = Calor alimentado a la centrífuga para alcanzar la fuerza centrífuga necesaria y lograr separar la emulsión aceite - agua.
- $Q_6$  = Calor agregado al reactor blanqueador para que al aumentar la temperatura del aceite se pueda formar la emulsión aceite-tierras de blanqueo.
- $Q_7$  = Calor alimentado a la centrífuga para alcanzar la fuerza centrífuga necesaria y lograr separar el aceite de las tierras de blanqueo e impurezas que contenga.
- $Q_8$  = Calor agregado al reactor hidrogenador para que al alcanzar la temperatura necesaria, el aceite pueda ser hidrogenado y forme la emulsión aceite-catalizador.

$$Q_1 = M C_p \Delta T \quad (13).$$

Donde:

$M$  = Masa de semilla, lb

$C_p$  = Capacidad calorífica de la semilla, BTU/lbm °F

$T_1$  = Temperatura de entrada de la semilla, °F

$T_2$  = Temperatura de salida de la semilla, °F

$$Q_1 = 1\,872.25 \text{ lb} \times 0.5338 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (194 - 77) ^\circ\text{F}$$

$$Q_1 = 116\,930.62 \text{ BTU/turno}$$

$$Q_2 = M C_p \Delta T$$

Donde:

$M$  = Masa de aceite que entra al intercambiador de calor, lb

$C_p$  = Capacidad calorífica del aceite, BTU/lbm °F

$T_1$  = Temperatura de entrada del aceite, °F

$T_2$  = Temperatura de salida del aceite, °F

$Q_2 = 898.678 \text{ lb} \times 0.5338 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (230 - 80.6) ^\circ\text{F}$

$Q_2 = 71\,669.32 \text{ BTU/turno}$

Las centrifugas 1A - TIPO ABIERTO\* Impulsada por turbina requieren de 100 lb/br de vapor (16), por lo tanto:

$Q_3 = 100 \text{ lb/hr} \times 918.47 \text{ BTU/hr} \times 8 \text{ hr/turno}$

$Q_3 = 734\,776 \text{ BTU/turno}$

$Q_4 = M C_p \Delta T$

Donde:

M = Masa de aceite que entra al intercambiador de calor, lb

$C_p$  = Capacidad calorífica del aceite, BTU/ lbm °F

$T_1$  = Temperatura de entrada del aceite, °F

$T_2$  = Temperatura de salida del aceite, °F

$Q_4 = 872.25 \text{ lb} \times 0.5338 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (230 - 80.6) ^\circ\text{F}$

$Q_4 = 69\,561.70 \text{ BTU/turno}$

Las centrifugas 1A-TIPO ABIERTO impulsada por turbina requieren de 100 lb/hr de vapor (16), por lo tanto:

$Q_5 = 100 \text{ lb/hr} \times 918.47 \text{ BTU/lb} \times 8 \text{ hr/turno}$

$Q_5 = 734\,776 \text{ BTU/turno}$

$Q_6 = M C_p \Delta T$

Donde:

M = Masa de aceite que entra al reactor blanqueador, lb

$C_p$  = Capacidad calorífica del aceite, BTU/lbm °F

$$Q_6 = 865.64 \text{ lb} \times 0.5338 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (302 - 230) ^\circ\text{F}$$

$$Q_6 = 33\,269.66 \text{ BTU/turno}$$

Las centrifugas 1A-TIPO ABIERTO impulsada por turbina requieren de 100 lb/hr de vapor (16), por lo tanto:

$$Q_7 = 100 \text{ lb/hr} \times 918.47 \text{ BTU/lb} \times 8 \text{ hr/turno}$$

$$Q_7 = 734\,776 \text{ BTU/turno}$$

$$Q_8 = M C_p \Delta T$$

Donde:

M = Masa de aceite que entra al reactor hidrogenador, lb

C<sub>p</sub> = Capacidad calorífica del aceite, BTU/lbm °F

T<sub>1</sub> = Temperatura de entrada del aceite, °F

T<sub>2</sub> = Temperatura de salida del aceite, °F

$$Q_8 = 861.23 \text{ lb} \times 0.5338 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (293 - 80.6) ^\circ\text{F}$$

$$Q_8 = 97\,645.84 \text{ BTU/turno}$$

$$Q \text{ Total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$= (116\,930.62 + 71\,669.32 + 734\,776 + 69\,561.70 +$$

$$734\,776 + 33\,269.66 + 734\,776 + 97\,645.84) \text{ BTU/turno}$$

$$Q \text{ Total} = 2\,593\,405.14 \text{ BTU/Turno}$$

$$Q \text{ Total} = 324\,185.64 \text{ BTU/hr}$$

\* Se usará este tipo de centrifugas debido a que su capacidad se encuentra cercana al rango que se requiere en la planta; otras características de esta centrifuga son: gran eficiencia de centrifugación, fácil de limpiarse, su costo de mantenimiento es bajo, flujo directo de vapor para obtener gran centrifugación, etc.

Cálculo de la Capacidad de la Caldera

Para el cálculo de la caldera, se consideraron las siguientes necesidades de vapor y agua caliente, que son las más comunes:

1. Consumo de vapor del equipo
  2. Vapor para el calentamiento del agua
  3. Margen de pérdidas por tuberías
1. Consumo de vapor del equipo.

En el balance de energía se encontró que se necesitan 2 593 405.14 BTU/turno ó sea 324 175.64 BTU/hora; para el cálculo consideraremos las siguientes características:

Presión del vapor 71 lb/in<sup>2</sup>

Calidad del vapor 95%

Temperatura a la cual se deja el condensado 250 °F

Eficiencia de transmisión de calor del generador de vapor 80%

Calor específico del agua 1 BTU/lb °F

El calor obtenido de una libra de vapor a una presión absoluta de 71 lb/in<sup>2</sup>, es el siguiente:

Calor total del vapor (6) 1. 182.14

Calor total del líquido(6) 278.35

Calor latente del vapor 903.79 BTU/lb

Calor latente de 95% de vapor = 903.79 x 0.95 = 858.6 BTU/lb

Calor total de 95% de calidad del vapor = 858.6 + 278.35 =

1136.95 BTU/lb

Calor total del 95% de calidad del vapor	1 136.95
Calor total del condensado a 250°F (6)	<u>- 218.48</u>
Calor total neto/lb de vapor	918.47 BTU/lb

Por lo tanto:

$$\text{Libras de vapor requeridas} = \frac{324\,175.64 \text{ BTU/hr}}{918.47 \text{ BTU/lb}} = 352.952 \text{ lb/hr}$$

## 2. Vapor para el calentamiento del agua

Primeramente se calculará la cantidad de agua caliente que se usará:

2 llaves para limpieza de equipo	1000 lb/hr
limpieza de pisos	1000 lb/hr
3 Empleados de fábrica	40 lb/hr
2 regaderas	200 lb/hr

TOTAL 2240 lb/hr

Cálculo del calor necesario para elevar la temperatura del agua de 77°F hasta 180°F

$$Q^* = \frac{2\,240 \text{ lb/hr} \times 1 \text{ BTU/lbm}^\circ\text{F} \times (180-77)^\circ\text{F}}{0.80} = 230\,720 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Libras de vapor requeridas} = \frac{230\,720 \text{ BTU/hr}}{918.47 \text{ BTU/lb}}$$

## 3. Margen de pérdidas por tuberías:

Se considerará una pérdida del 10% del total de libras de vapor requeridas:

$$(325.952 + 251.20) \text{ lb/hr} = 604.152 \text{ lb/hr} \text{ ó sea:}$$

$$604.152 \times 0.1) \text{ lb/hr} = 60.41 \text{ lb/hr pérdida por tubería}$$

vapor total necesario:

$$(604.152 + 60.415) \text{ lb/hr} = 664.567 \text{ lb/hr}$$

Cálculo de los caballos caldera:

$$\text{H.P.C.} = \frac{W \text{ Cp } (T_2 - T_1)}{33\,479 \text{ BTU}}$$

Donde:

W = Libras de agua que se van a evaporar

Cp = Capacidad calorífica del agua

T<sub>1</sub> = Temperatura del agua a la entrada

T<sub>2</sub> = Temperatura del agua a la salida

$$\text{H.P.C.} = \frac{664.567 \text{ lb/hr} \times 1 \text{ BTU/lbm } ^\circ\text{F} \times (303.8 - 77) ^\circ\text{F}}{33\,479 \text{ BTU}}$$

\* Se usará una caldera de 5 caballos calderas para tener un margen de seguridad y que no funcione al 100% de su capacidad, Calculo del consumo del combustible.- El cálculo se hará considerando como combustible aceite No.2, cuyo poder calorífico es de 19500 BTU/lb, aplicando la siguiente formula se tiene:

BTU requeridos para evaporar 1 lb

$$\text{lb combustible/lb vapor} = \frac{\text{de agua a la presión requerida}}{\text{poder calorífico en BTU/lb de combustible por la eficiencia del generador.}}$$

Capacidad del generador = 664.567 lb

Calor total para evaporar 1 lb de agua es de 1 182.14 BTU, a la presión de 71 lb/in<sup>2</sup>

$$\text{lb combustible/lb vapor} = \frac{1 \text{ lb} \times 1\,182.14 \text{ BTU/lb}}{19\,500 \text{ BTU/lb} \times 0.80} = 0.07577$$

Consumo combustible/hr = 664.567 lb/hr x 0.07577 lb/lb

$$= 50.36 \text{ lb/hr}$$

Cálculo del Espacio de  
la Planta y Edificios.

Los cálculos se efectúan en base en los estudios hechos por Mr. Mitten, en el Colegio de Michigan, que proporciona los siguientes factores, que deben tomarse en cuenta, en cuanto a los requisitos de espacio y tamaño:

1. Espacio de equipo  $0.025 \text{ M}^2/\text{lt}$  de aceite que se procesa.
2. Tamaño del local de almacenamiento de producto terminado,  $0.005 \text{ M}^2/\text{lt}$
3. La superficie del piso para procesamiento, oficina y laboratorio, puede calcularse por la fórmula:

$$A = a/0.20$$

A = Area de piso

a = Superficie o espacio de equipo

4. El espacio mínimo para almacenamiento de semilla de jojoba debe ser 33% de la superficie en peso total de la planta.

Cálculos.-

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. $0.025 \text{ M}^2/\text{lt} \times 1350 \text{ lt}$                                    | $33.75 \text{ M}^2$  |
| 2. Considerando un almacenamiento del producto terminado para 15 días                      |                      |
| $0.005 \text{ M}^2/\text{lt} \times 1350 \text{ lt/día} \times 15 \text{ días}$            | $101.25 \text{ M}^2$ |
| 3. La superficie del equipo es de $33.75 \text{ M}^2$ , entonces de la formula se obtiene: |                      |
| $A = 33.75 \text{ M}^2/0.20$   | $168.75 \text{ M}^2$ |
| <b>sub-total=303.75 <math>\text{M}^2</math></b>  |                      |

4. El total de la superficie en piso es de  $303.75 \text{ M}^2$ , el 33% de esta superficie será la superficie necesaria para almacenamiento de semilla de jojoba o sea de materia prima

0.33 X $303.75 \text{ M}^2$	$100.25 \text{ M}^2$
Superficie total en piso	<u><math>303.75 \text{ M}^2</math></u>
Total de la superficie de la planta	$404.00 \text{ M}^2$

NOTA: Se empezará a trabajar solamente un turno/día, pero cuando se este en su máxima producción la planta de jojoba se podrá contar con mayor materia prima y se trabajará las 24 horas; por esta razón se calcula de la planta con una producción de 24 horas laboradas./

Cálculo del Consumo de Energía Eléctrica.

El consumo de energía eléctrica en la planta es el siguiente:

Colocación del motor	Potencial en en H.P.	Demanda Watts
Motor para la bandas transportadoras	4	2984
Motor para la cribadora	2	1492
Motor para cocedor y Expeller	10	2460
Bomba centrífuga para filtro-prensa	1	746
Bomba centrífuga	1	746
Motor para agitación del emulsionador	0.5	373
Motor para centrífuga	1	746
Bomba centrífuga	1	746
Bomba centrífuga	1	746
Motor para agitación del blanqueador	0.5	373
Bomba centrífuga	1	746
Motor para centrífuga	1	746
Bomba centrífuga	1	746

Colocación del motor	Potencial en H.P.	Demanda Watts
Motor para centrífuga	1	746
Motor para agitación del hidrogenador	0.5	373
Bomba de vacío	1	746
Bomba centrífuga para filtro-prensa	1	746
Bomba centrífuga	1	746
Bomba de vacío	1	746
Compresor de aire	3	<u>2238</u>
Total de consumo de energía eléctrica		24991

NOTA: Estos datos se obtuvieron de acuerdo a varias cotizaciones que fueron recibidas y de datos con que se contaban.

#### Consumo de energía eléctrica en iluminación

Ubicación	Watts
Almacenamiento de producto terminado	1500
Almacenamiento de materia prima	1500
Laboratorio	3000
Equipo de proceso	3000
Oficina	1500
Iluminación exterior	1500
Total	<u>12000</u>

NOTA: El cálculo se hizo de acuerdo a investigación personal y visitas hechas a diferentes plantas dedicadas al ramo de aceites y mantecas (Anderson Clayton & Co. GAMESA).

Sumando el consumo en watts por los motores y la iluminación:

Motores 24 991

Iluminación 12 000

Total 36 991

Calculo del consumo de energía eléctrica para un mes de operación:

El consumo de energía del equipo en KW es igual a 24.99, considerando que los motores trabajan a 85%, de su capacidad y que el 40% trabaja 8 horas y el 60% restante trabaja solamente 4 horas se obtuvieron los siguientes resultados:

	KW-MES
Motores = $24.99 \times 0.85 \times 0.4 \times 8 \text{ H/D} \times 25 \text{ D/M}$	1 700
Motores = $24.99 \times 0.85 \times 0.6 \times 4 \text{ H/D} \times 25 \text{ D/M}$	1 275
Oficina = $1.5 \text{ KW} \times 8 \text{ H/D} \times 25 \text{ D/M}$	300
Equipo de proceso = $3 \text{ KW} \times 24 \text{ H/D} \times 30 \text{ D/M}$	2 160
Iluminación exterior = $1.5 \text{ KW} \times 12 \text{ H/D} \times 30 \text{ D/M}$	540
Laboratorio = $3 \text{ KW} \times 8 \text{ H/D} \times 25 \text{ D/M}$	600
Almacenamiento de producto = $1.5 \text{ KW} \times 24 \text{ H/D} \times 30 \text{ D/M}$	1080
Almacenamiento de materia = $1.5 \text{ KW} \times 24 \text{ H/D} \times 30 \text{ D/M}$	<u>1 080</u>
Total de consumo de energía eléctrica:	8 735

NOTA: La equivalencia de los literales usados es la siguiente:

H: hora    D: Día    M: mes

### Selección de Equipo.

Para la selección del equipo, se consideró el análisis de varias cotizaciones, seleccionándose la que proporcionó mayores ventajas. A continuación se describe el equipo que se seleccionó y sus características.

#### Banda Transportadora.

Se usará para el movimiento de semilla, desde el almacén hasta la cribadora; se contará con otra banda transportadora para mover la semilla limpia, que se obtiene de la cribadora, hasta el cocedor. La capacidad que tendrá esta banda será para un movimiento de 125 kg/hr de semilla, el espesor será de 10' pulgadas. El material con que estará fabricada dicha banda será de hule.

#### Cribadora.

Se usará para separar la cáscara de la semilla y para limpiarla de materia extraña la cual pueden ser basura, hojas, ramas, propias de la planta de jojoba.

La separación se hace con el fin de alimentar al cocedor únicamente semilla limpia.

El procedimiento se llevará a cabo por medio de un tamiz con una separación de 0.7 cm (mínimo espesor de la semilla es de 0.8 cm).

Esta cribadora tendrá una capacidad de 200 kg/hr de cribado de semilla de jojoba, se usa esta capacidad para tener un margen suficiente para que no trabaje a toda su capacidad.

La semilla caerá por gravedad debido a la banda transportadora que la moverá desde el almacén hasta la cribadora.

Se utilizará una cribadora de sacudidas. La sacudida hará avanzar al material sobre el elemento tamizador cuando la criba se encuentre en movimiento, esta tendrá una pendiente no mayor de 62 mm/m. Las cribas de sacudidas requieren de 0.55- 1.1 C.V./M<sup>2</sup> de superficie tamizadora.  
Cocedor.

Este cocedor será abierto en la parte superior, estará provisto de una chaqueta de vapor y contará con dos cámaras, una para cocido y otra para secado, ambas provistas con un agitador mecánico. La cámara de secado es con el fin de quitarle la humedad que lleva la semilla.

El cocedor tendrá las siguientes características:

Diámetro del cocedor = 1.0 M

Altura = 1.2 M

Capacidad = 942 lt

Densidad de la semilla = 0.555 g/CC.

Se usará esta capacidad suponiendo que el 60% es semilla y el 40% separación entre semilla ó sea espacio vacío.

Expeller.

Este exprimidor tendrá una capacidad de 125 kg/hr de semilla.

Se usará una prensa de "tornillo sin fin": La rotación del tornillo impulsa al material hacia adelante y, s

medida que aumenta la presión, es expulsado el líquido y escapa por las ranuras longitudinales de la cuba. La operación es continua y los costos de mano de obra y otros de funcionamiento, son bajos.

La capacidad de esta prensa será de 3 ton/24 horas, con una eficiencia de 75%. El contenido residual de aceite varía entre 4-10% según la semilla prensada y el tipo de expulsor usado.

Se usará un expeller EX-100 Marca Hander, cuyas características son:

Largo 1.33 M

Ancho 0.72 M

Altura 0.72M

Motor 10 H.P.

La polea girará a 600 rpm

Velocidad del tornillo 30-35 rpm

Tanque Sedimentador.

Será un tanque cónico provisto de una malla ó filtro en el centro del tanque, el cual se usará para poder retener los lodos e impurezas que contenga el aceite procedente de los Expeller. Tendrá una capacidad de 3000 lt, el material de construcción será de lámina #12 de acero inoxidable.

Filtro-Prensa.

El filtrado del aceite de jojoba se hace con el fin de separar el aceite limpio y claro de los lodos e impurezas que no lograron sedimentar. Se lleva a cabo en un filtro-prensa marca Hander de 1.27 M de largo y 0.36 M de ancho.

El filtro está equipado con una motobomba de 1 H.P. la capacidad del filtro es de 150 lt/hr y puede trabajar a una presión máxima de  $8 \text{ kg/cm}^2$  (condiciones a la que trabajan los filtro-prensa en el C.I.C.T.U.S.).

Tanque de Almacenamiento (A). ✓

Este tanque servirá para almacenar el aceite producido de cada uno de los tratamientos a los que se somete el aceite, los cuales son: extracción, refinación, blanqueo e hidrogenación; por lo tanto, se necesitan un total de 3 tanques de almacenamiento.

El tanque tendrá una capacidad suficiente para almacenar el producto de 2 días de operación, ya que el proceso es Batch y tiene que existir suficiente aceite para seguir el siguiente tratamiento.

Características del Tanque:

Altura 2.0 M

Diámetro 1.4 M

Capacidad 3000 lt (exceso de 20%)

Material de construcción: acero inoxidable, lámina #12.

Se usará un exceso del 20% de su capacidad para darle tiempo a que las impurezas que contenga el aceite logren sedimentarse.

Reactor Emulsionador.

Será un reactor tipo tanque agitado. Tendrá 2 líneas de alimentación en las cuales por una se le suministrará

sosa cáustica (5 gr NaOH/kg aceite) y por otra el aceite de jojoba.

Contará con motor propio para agitación del aceite y estará enchaquetado, la capacidad será de aproximadamente 100 lts, y el tiempo de residencia del aceite varía entre 5 y 30 min. El motor suministrará una agitación de 250 rpm. El reactor contará con tanque dosificador, este reactor estará fabricado en acero inoxidable.

Tanque de Retención (B).

Se usará este tanque debido a que los reactores trabajan en un proceso Batch y se necesita un tanque de retención de aceite para la alimentación a los demás equipos siguientes ya que estos trabajan en un proceso continuo.

El tanque de retención será de una capacidad de 1000 lts y su material de construcción será en acero inoxidable y en lámina #12.

Se necesitará un total de 4 tanques de retención.

Intercambiador de Calor (C).

Se usará para aumentar la temperatura del aceite de 27°C hasta 110°C. Esto se logrará por medio de un suministro de vapor de agua el cual calentará al aceite, al suceder esto se logrará que se rompa la emulsión formada de agua-jabón.

El intercambiador usado tendrá las siguientes características: 24 tubos de 3/4 de pulgada de DI, 16 BWG, 7 pies o pulgadas de longitud, arreglo triangular de 1 pulgada, coraza de 8 pulgadas de DI, 4 pasos en los tubos, un paso en

la coraza, 13 deflectores segmentados al 25% y separadas a 5 pulgadas, material de construcción será acero inoxidable. Centrifuga (D).

Se usará para la separación de 2 líquidos inmiscibles, en el cual la mezcla es continuamente alimentada y descargada separadamente por diferentes conductos emulsiones difíciles pueden separar debido a la alta fuerza de centrifugación.

La capacidad efectiva varía para cada solución y depende de varios factores tales como el grado de separación y la naturaleza de la emulsión en uso.

Contará con un motor separador con anillo de ajuste de retención (8-RY) con dos descargas. Empleado para separación de mezclas ó emulsiones de líquidos inmiscibles. Los sólidos se acumulan en la pared del rotor.

La centrifuga será de la marca Sharples, 1A-TIPO ABIERTO impulsada por turbina, de velocidad máxima de 50 000 rpm y una fuerza centrifuga de 62 000 xG. La turbina requiere 100 lb/hr de vapor. Se usarán un total de 3 centrifugas.

Tanque de almacenamiento (ver A).

Intercambiador de calor (ver C).

Centrifuga (ver D).

Tanque de retención (ver B).

Reactor blanqueador.

Será un reactor tipo tanque agitado que trabajará a

un vacío de 27 pulgadas de Hg, y a una temperatura mayor de 150°C. Tendrá una capacidad de 100 lts. El aceite tendrá un tiempo de residencia de 20 minutos.

Este reactor estará equipado con motor propio para agitación para lograr una emulsión más uniforme. La emulsión se formará al alimentarle tierras de blanqueo al reactor la tierra de blanqueo varía de 0.5-3%, el reactor contará con tanque dosificador, y estará construido en acero inoxidable. Tanque de Retención (ver B).

Centrífuga (ver D).

Tanque de Almacenamiento (ver A)

Reactor hidrogenador.

Será un reactor tipo tanque agitado, trabajará a una presión de vacío de 27 pulgadas de Hg, y temperatura de 145°C. Tendrá una alimentación de aceite, una de catalizador, la cual es de 7 gr catalizador/kg aceite, y una más de hidrógeno.

El reactor estará provisto de controlador automático de temperatura para calentamiento de 0-400°C y serpentín de enfriamiento, de agitador de velocidad variable de 0-1000 rpm tipo turbina y medidor de presión de 0-2000 psig., la agitación se logrará por medio de un motor propio para agitación y lograr una emulsión uniforme. El reactor también contará con tanque dosificador. El material de construcción del reactor será de acero inoxidable.

Tanque de Retención (ver B)

Bomba de Vacío (E).

Se usará como equipo auxiliar para suministrar vacío al hidrogenador y al blanqueador.

Esta bomba se usará para manejar el doble del contenido de humedad considerado normal para el aceite refinado y blanqueado que es el 0.5%, sosteniendo una presión absoluta cercana a la presión de vacío. Tendrá una potencia de 1 H.P. Se usarán 2 bombas de vacío.

Filtro-Prensa.

Este Filtro-Prensa será acondicionado para trabajar con calentamiento eléctrico, con el objeto de evitar solidificación del producto durante la filtración.

Se usará para separar el aceite hidrogenado del catalizador e impurezas que contenga el mismo.

El filtro-prensa está equipado con una motobomba de 1 H.P., la capacidad del filtro es de 150 lt/hr y puede trabajar a una presión máxima de 8 kg/cm<sup>2</sup>.

Tanque de Almacenamiento.

Este tanque servirá para almacenar el aceite producto de la hidrogenación.

La capacidad del tanque será la suficiente para almacenar el aceite producto de 15 días de operación, ya que no se podrá vender todo el aceite producido y siempre habrá aceite en existencia.

Características del tanque:

Altura 3.22 M

Diámetro 3.10 M

Capacidad 25 000 lts (exceso de 20%)

También se puede almacenar el aceite hidrogenado en tanques de 200 lts y así resulta más fácil el manejo para su venta.

Caldera.

Suministrará vapor a una presión de  $5 \text{ kg/cm}^2$ , esta caldera operará con petróleo diesel No.2; estará equipada con todos los accesorios para su funcionamiento.

La capacidad de la caldera será de 5 caballos caldera. Será de la marca Anderson Ibec.

Bomba Centrífuga.

Estas bombas servirán para transportar o transferir el aceite de un equipo a otro.

Serán de tipo sanitario construidas en acero inoxidable; se usarán un total de 8 bombas las cuales tendrán una potencia de 1 H.P. cada una.

Compresor de Aire.

Se usará para las necesidades existentes de presión en los diferentes tratamientos a los que se someta el aceite. Será de la marca Jacuzzi.

NOTA: Se optó por poner incisos en equipo que se usa y que su cantidad es mayor de la unidad para no repetir las características de dicho equipo, la secuencia que se siguió fué de acuerdo al flujo del aceite.

Fuentes: La selección del equipo se logró por medio de folletos de casas expendedoras de equipo de proceso las cuales son:

Pfaulder Permutit S.A. de C.V.

Pailmack Internacional S.A.

Sweco Mex S.A.

Equipos industriales TEICI, S.A.

## EVALUACION ECONOMICA

### Inversión Total.

La evaluación económica de este estudio se hará en base de 450 lt/turno de 8 horas.

#### Inversión Total.

La inversión total incluye el capital fijo y el capital de trabajo, los cuales se detallan a continuación:

#### 1. Capital Fijo

El capital fijo incluye el capital necesario para la inversión de los siguientes puntos principales:

Estimación del Costo de la Inversión:

#### Terreno:

La planta se localizará en el Parque Industrial de Hermosillo.

$$404 \text{ M}^2 \times \$ 8.00/\text{M}^2 \times 1.6 \qquad \$ 5,171.20 \rightarrow$$

Nota: Se pagará el 60% de impuesto al municipio

#### Edificaciones:

Comprenderá edificio de la planta , oficina, laboratorio, almacén

$$404 \text{ M}^2 \times \$ 2\,000.00/\text{M}^2 \qquad 808,000.00$$

#### Laboratorio:

Será un laboratorio equipado con todos los instrumentos y aparatos

necesarios para hacer toda clase de análisis de aceites. (Según referencia de Sverdrup & Parcel).	\$690,000.00
<b>Equipo de Proceso.</b>	
Posteriormente se dará a conocer el costo del equipo de proceso el cual es	5'582,660.40
<b>Sub-estación eléctrica.</b>	
Se considerará el 2.5% del valor del equipo de proceso (referencia de Chemical Engineering Handbook)	89,568.51
<b>Equipo de oficina</b>	25,000.00
<b>Instrumentación.</b>	
Se considerará el 7.5% del valor del equipo de proceso (referencia de Chemical Engineering Handbook)	268,705.53
Sub-Total	5'669,105.64
Al subtotal se le sumará el 4.18% de impuesto sobre ingresos mercantiles.	
<b>Subtotal de Capital Fijo</b>	5'906,054.25
<b>Imprevistos + 1 año de escalamiento</b> (debido al aumento que existe año con año en el costo del equipo de proceso, construcción y otros conceptos, se considerará un 15% del subtotal del capital fijo).	885,908.03

COSTO DEL EQUIPO DE PROCESO

Banda transportadora	\$ 13,800.00	
Motor para banda transportadora	2,970.00	
Cribadora	52,900.00	
Motor para cribadora	2,970.00	
Banda transportadora	13,800.00	
Motor para banda transportadora	2,970.00	
Equipo de extracción*	460,000.00	
Cocedor	540 410	
Expeller		
Motor para cocedor y Expeller		
Filtro-Prensa		
Bomba centrífuga		
Caldera		
✓ Tanque de almacenamiento	8,375.55	①
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	
✓ Reactor emulsionador	750,000.00	
✓ Tanque de retención	2,447.35	
✓ Intercambiador de calor	45,000.00	
✓ Centrífuga	138,000.00	
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	
✓ Tanque de almacenamiento	8,375.55	①
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	
✓ Intercambiador de calor	45,000.00	
✓ Centrífuga	138,000.00	
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	
✓ Tanque de retención	2,447.35	
✓ Reactor blanqueador	750,000.00	74
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	71
✓ Bomba de vacío	2,447.35	73
✓ Tanque de retención	2,447.35	74
✓ Centrífuga	138,000.00	75
✓ Tanque de almacenamiento	8,375.55	① 76
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	77

Reactor hidrogenador	\$ 750,000.00	28
✓ Bomba de vacío	3,750.00	21
✓ Tanque de retención	2,447.35	20
✓ Bomba centrífuga	4,275.00	21
Filtro-prensa	99,190.00	22
Tanque de almacenamiento	62,199.35	22
Compresor de aire	35,520.00	24
	<u>3'582,660.40</u>	

\* Debido a que algunas casas expendedoras de equipo de proceso venden por paquetes, se describe lo que contiene el paquete.

NOTA: Los datos de costo de equipo fueron recopilados por medio de folletos de casas expendedoras de equipo de proceso y de entrevistas personales y comunicación telefónicas a las mismas.

## 2. Capital de Trabajo.

### a). Inventario de materia prima

Se tendrá en almacén, materia prima suficiente para la producción de 15 días como máximo o sea:

Semilla de jojoba:

1 tonelada/turno x 1 turno/día x 15 días                      15 toneladas

capital invertido en materia prima:

15 toneladas x \$75,000.00/tonelada                      \$1'125,000.00

### b). Inventario de producto terminado

Se tendrá almacenado aproximadamente, el producto de 15 días de operación como máximo

Aceite producido:

389 kg/turno x 1 turnos/día x 15 días                      5,835 kg

Capital invertido en producto terminado

5 835 kg x \$ 300.00/kg                      1'750,500.00

### c). Dinero en caja

Reserva mínima en efectivo para cubrir 15 días de costo de operación y que quede un remanente

2'124,500.00

Total de Capital de Trabajo

5'000,000.00

Costos de Producción

y Gastos Generales.

1. Costos de producción.

a). Costos directos:

1) Materia prima	\$ 75.00
2) Combustible	0.185
<u>22.80 lt/hr x 8 hr/día x \$ 1.01/lt</u>	
1 000 kg/día	0.185

3) Energía eléctrica

Demanda total de kw es de 36.997, de acuerdo a la tarifa industrial se tiene \$21.03/kw de demanda base de facturación.

Por lo tanto:

Cuota fija por demanda total es

\$21.03/kw x 36.991 \$ 777.92

Los primeros 90 KW-Hr consumidos es

90 kw x 36.991 x \$ 0.48/kw 1,598.01

Los siguientes 180 kw-hr consumidos es

180 kw-hr x 36.991 x \$0.38/kw-hr 2,530.18

El excedente

(8.235 - 270) kw-hr x \$0.29/kw-hr 2,454.85

Total tarifa oficial

\$(777.92 + 1,598.01 + 2,530.18 + 2,454.85) 7,360.96

Al total hay que agregarle el 15% de

impuestos \$7,360.96 + (7,360.96 x 0.15) 8,465.10

<u>8,465.10/mes</u>	
1 000 kg/día x 25 días/mes	0.34

## 4. Agua

Consumo es de 25 M<sup>2</sup>/día

(referencia junta federak de agua potable y alcantarillado de Hermosillo, Son)

15 M <sup>2</sup> cuota fija	50.00
Excedente	
\$ 3.25/M <sup>2</sup> x 10 M <sup>3</sup>	32.50
Costo total	
\$ (50.00 + 32.50)	82.50

82.50/día

1 000 kg/día	0.082
--------------	-------

## 5. Mano de obra:

Un operador por turno para proceso de extracción y refinación	194.69
un operador por turno para proceso de blanqueo e hidrogenación	194.69
Un obrero ppr turno encargado de limpieza de la planta	171.50
Total mano de obra	
\$ (194.69 + 194.69 + 171.50)	560.88

Costo mano de obra

<u>\$560.88/turno x 1 turno/día</u>	
1 000 kg/día	0.56

6. Materiales de conversión:		
Tonsil-optimum	Hidrógeno	
Catalizador	Ayuda-filtro	
Sosa cáustica		0.65
7. Costo de vapor:		
<u>664,567 lb/hr x 8 hr/día x \$ 0.014/lb</u>		
1 000 kg/día		0.075
8. Costo de aire:		
Se considerará el 25% del costo de vapor		0.019
b). Costos indirectos		
1). Mano de obra indirecta		
Supervisor	\$ 433.33	
Secretaria	166.66	
Laboratorista	205.80	
Velador	171.50	
Total mano de obra indirecta		
\$(433.33 + 166.66 + 205.80 + 171.50)		977.29
<u>\$ 977.29/día</u>		
1 000 kg/día		0.977
2). Accesorios:		0.166
3). Mantenimiento y reparaciones:		0.333
4). Depreciación del equipo:		
La ley de Impuestos Sobre la Renta		
establece una depreciación para el equipo y maquinaria del 10% y para los edificios del 5%		1.752

## 5. Seguro:

Se considerará el 1.0% del capital fijo	0.186
---	-------

2. Gastos Generales

En estos gastos se incluyen: gastos de ventas  
Gastos de publicidad y gastos de administración debido  
a la falta de datos para evaluar los gastos generales  
se va a considerar el 0.3% del costo de materia prima

<u>\$ 225,000.00/día x 0.003</u>	0.225
1 000 kg/día	
Total Costo/kg	<u>\$ 80.550</u>

Análisis Financiero.

1. Utilidades:

a) Utilidad Bruta (U.B.)

U.B. Ventas - costos de producción

El precio de un kg de aceite de jojoba es de \$ 300.00 (datos obtenidos por el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora)

Ingresos por ventas

\$300.00/kg x 389 kg/día x 300 días/año

\$ 35'010,000.00

Costos de producción:

\$80.55/kg x 1 000 kg/día x 300 días/año

24'165,000.00

U.B. = \$(35'010,000.00 - 24'165,000.00)

U.B. = \$ 10'845,000.00

b) Utilidad de operación (U.O.)

U.O. = U.B. - Gastos generales

Gastos Generales:

\$ 0.225/kg x 1 000 kg/día x 300 días/año

67,500.00

U.O. \$ (10'845,000.00 - 67,500.00)

U.O. \$ (10'777,500.00

c) Utilidad neta (U.N.)

U.N. = U.O. - Impuestos, seguros y reparto de utilidades. Los impuestos generalmente absorben el 42% de las utilidades de operación de las

utilidades de operación y el reparto de  
utilidades absorben el 8%, por lo tanto:

$$U.N. = \$ 10'777,500.00 (10'777,500.00 \times 0.50)$$

$$U.N. = \$ 5' 388,750.00$$

2. Inversión total (I.T.)

I.T. = Capital fijo + capital de trabajo

$$\$ (6'791,962.28 + 5'000,000.00)$$

$$I.T. = \$ 11'791,962.28$$

3. Rentabilidad (R)

$$R = \frac{\text{utilidad neta}}{\text{Inversión total}} = \frac{5'388,750.00}{11'791,962.28} = 0.456$$

4. Tiempo teórico de recuperación de capital (T.R.C.)

$$T.R.C. = \frac{1}{\text{Rentabilidad}} = \frac{1}{0.456} = 2.193$$

$$T.R.C. = 2 \text{ años } 2 \text{ meses } 15 \text{ días}$$

Considerando que la inversión total se depositará en una financiera ó una institución bancaria, la tasa de recuperación sería:

De las tablas de tasa discreta de rendimiento, la tasa de recuperación mínima atractiva es de 1.3312, entonces:

$$\text{tasa de recuperación} = 11'791,962.28 \times 1'3312 = \$15'697,459.84$$

$$R = \frac{\$ 5'388,750.00}{\$ 15'697,459.84} = 0.343$$

$$T.R.C. = \frac{1}{0.343} = 2.915$$

$$T.R.C. = 2 \text{ años } 10 \text{ meses}$$

Punto de Equilibrio.

A continuación se expresan los costos fijos y costos variables de la planta para una capacidad de operación de

100% costos fijos:

Mano de obra	\$ 0.56
Mantenimiento	0.333
Supervisión	0.977
Depreciación	1.752
Seguro	0.186
	<hr/>
	\$4.033

Costos fijos = \$ 4.033/kg x 1 000 kg/día x 300 día/año

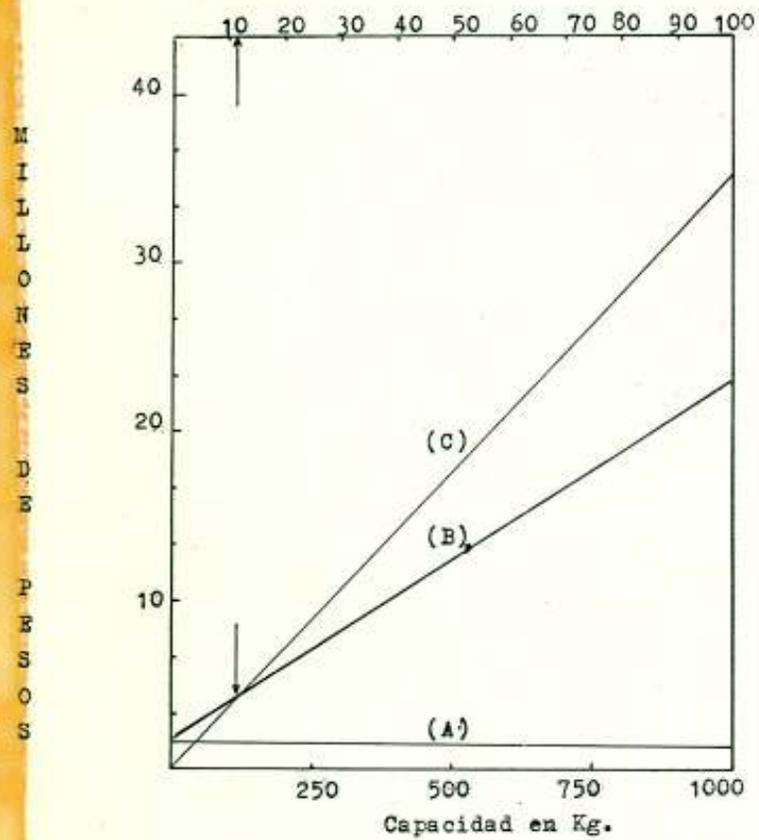
= \$ 1'209,900.00

Costos variables:

Materia prima	\$ 75.00
Combustible	0.185
Energía eléctrica	0.34
Agua	0.082
Vapor	0.075
Aire	0.019
Accesorios	0.166
Materiales de conversión	0.65
	<hr/>
Total	\$ 76.517

Costos variables = \$76.517/kg x 1 000 kg/día x 300 días/año

= \$22'955,100.00



Gráfica del Punto de Equilibrio

- A). Costos Fijos
- B). Costos Variables
- C). Ingreso por ventas

Costos fijos	\$ 1'209,900.00
Costos variables	22'955,100.00
Costos totales	24'165,000.00
Utilidad de operación	10'777,500.00

Como se puede ver en la gráfica del punto de equilibrio, éste se obtiene con una alimentación de 107 Kg/día de semilla de jojoba trabajando el equipo a una capacidad de 10.7%.

## CONCLUSIONES

Al terminar el presente estudio se concluye:

1.- Sí es factible, económicamente hablando, la instalación de una planta procesadora de semilla de jojoba, ya que se tiene una rentabilidad de 0.343 o sea que el costo de la planta se pagará en 2 años y 10 meses.

2.- Se recomienda que la planta se inicie con la mitad de la capacidad hasta que se establezca la producción de semilla de jojoba. Como se vé en la gráfica del punto de equilibrio a la mitad de la capacidad, ya se tienen ganancias.

3.- Debido a que la diferencia entre el precio de venta del aceite de jojoba que se obtiene de la extracción y el aceite que se obtiene de los demás tratamientos del aceite-refinación, blanqueo e hidrogenación-, es muy poca, y la inversión hecha en los mismos es muy alta; se recomienda iniciar con el tratamiento de extracción y de acuerdo a la demanda de aceite de jojoba ya procesado se instalará el demás demás equipo de procesamiento

#### BIBLIOGRAFIA

1. Alfredo Jaime de la Cerda "Cericultura", La Ciencia en las Tierras Aridas, Tomo 1.
2. Andersen A.J.C. "Refinación de Aceites y Grasas Comestibles" C.E.C.S.A., Primera Edición, Español, Cap. 1, (1965).
3. Andersen & Ivenzel "Introducción To Chemical Engineering", Mc Graw Hill Co., New York, Cap. 6, pag. 221-279, (1961).
4. Borbón González D. J., "Determinación de las condiciones de Operación de la Hidrogenación de la Cera de Jojoba", Tesis, C.I.C.T.U.S. pag. 26-35, 1978.
5. John H. Perry, "Handbook Chemical Engineering", Quinta edición, Mc Graw Hill, New York, Cap. XXV (1973).
6. Keenan & Keyes, "Thermodynamics Properties of Steam", John Wiley & Sons, New York, pag. 25-73, (1966).
7. Kern D.Q. "Procesos de Transferencia de Calor" C.E.C.S.A., Septima Edición, Cap. IV, pag. 85-109; Cap. X, pag. 243-264; Cap. XI, pag. 265-299, (1975).
8. Kirk R.E., Othmer D.F. "Enciclopedia de Tecnología Química", U.T.E.H.A., Primera Edición, Español, Cap. X, pag. 151-173, (1962).
9. Kuljasha Lerma M.A. "Extracción Mecánica del Aceite de Jojoba", Tesis C.I.C.T.U.S., Hermosillo, Son., pag. 7-14, 21-24, (1978).
10. Mc Kinney R.S. and G.S. Jamieson "Non-Fatty Oil From Jojoba Seed", Oil and Soap, 13, 289,292, (1932).
11. Miwa T.K. and G.F. Spencer "Separation and Structure Determination of Jojoba Oil Components by High-Pressure Liquid Chromatography and Gas Chromatography", Second International Conference on Jojoba and Its Uses, Ensenada, México; February 10-12, (1976).
12. Miwa T.K. "Saponification and Chromatography of Jojoba Wax Esters", International Conference on Jojoba

- and Its Uses, University of Arizona, Tucson, Arizona, Junio 1-3, (1972).
13. Miwa T.K. "J. of American Oil Chemical Society", 48, pag. 259-269 (1971).
  - ✓14. Nestor B. Knoeppler and H.L.E. Vix " Agricultural and Food Chemistry", Vol. 6 No.2, Febrero 1958.
  15. Ortega Estrada Armida "Refinación y Blanqueo del Aceite de Jojoba", Tesis C.I.C.T.U.S., Hermosillo, Son., pag. 15-25 (1978).
  16. Penwalt Sharples, Penwalt Limited, Doman Road, Camberley Surrey, Boletines No. 15126-1250.
  17. Products from Jojoba " A Promising New Crop Arid Land", National Academy of Science, Washington D.C. (1975).
  18. Ribas J. Adn Gil Curbera G. Anales Real " Sociedad Española de Física y Química, Madrid, 47 B, 639-648, 1951.
  19. Robert H. Perry " Engineering Manual", Mc Graw Hill Kogkusha, Segunda Edición (1970).
  20. Secretaría de Programación y Presupuesto "Formulación y Evaluación de Proyectos", Curso, Hermosillo, Son., (1978)
  21. Simmondsia or Jojoba in Economic Botany " Economic Botany", 6, 42 (1952).
  - ✓22. Tagochi M. "The Test Results of Safety on Jojoba oil To Be Used for Cosmetics", Second International Conference on Jojoba and its used, Ensenada, México Febrero 1976.
  23. Vilbrant & Dryden "Ingeniería Química del Diseño de Plantas Industriales", Editorial Grijalbo, Cap. VI, Pag. 204-386 (1959).
  24. Wisniak J. and Holin M. "Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev." vol. 14, No.4, Pag. 226-231 (1975).