

308917 10
2eje.



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

con estudios incorporados a la Universidad Nacional Autónoma de México

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL JUGO
DE AGAVE EN LAS INDUSTRIAS TEQUILERA Y MEZCALERA.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA

FERNANDO CURIEL NAVARRO

DIRECTOR : FIS. MARIANO ROMERO VALENZUELA

MEXICO, D.F.

MARZO 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

	Página
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	4
2. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MEZCAL	
2.1 CULTIVO.....	10
2.2 COSECHA.....	17
2.3 COCIMIENTO.....	22
2.4 EXTRACCIÓN.....	27
2.5 FERMENTACIÓN.....	30
2.6 DESTILACIÓN.....	36
3. EXTRACCIÓN DE LIQUIDOS EN GENERAL	41
4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y EQUIPOS	
4.1 PRENSAS DE CAPAS MÚLTIPLES.....	45
4.2 PRENSAS DE CANASTA.....	49
4.3 PRENSAS NEUMÁTICAS.....	52
4.4 PRENSAS DE DISCOS.....	54
4.5 PRENSAS DE BANDAS.....	56
4.6 EXTRACTORES CENTRÍFUGOS.....	61
4.7 MOLINOS DE RODILLOS.....	64
4.8 PRENSAS DE TORNILLO.....	76
5. SELECCIÓN DEL MÉTODO Y EQUIPO PARA LA EXTRACCIÓN DEL JUGO DEL AGAVE	81
6. PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DEL JUGO DEL AGAVE	112
7. RESULTADOS	129
8. ANÁLISIS ECONÓMICO	141
CONCLUSIONES	151
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente estudio es definir el método y el equipo más adecuado para la extracción del jugo de agave dentro del proceso de elaboración de mezcal.

Se buscará determinar el principio de aplicación de presión que ayude a extraer la máxima cantidad de jugo y azúcares reductores, para obtener el mejor rendimiento de la planta de agave. Para definir dicho principio de aplicación de presión se tomarán como base los parámetros de trabajo de los diferentes métodos y equipos para la extracción.

Debido a que la demanda nacional no se cubre por completo y principalmente al aumento de las exportaciones de este producto, los fabricantes de mezcal desean modernizar sus destilerías con el fin de satisfacer el mercado. Actualmente los procesos que comprenden la elaboración de mezcal, se realizan todavía en algunas fábricas con los métodos y equipos con que se destilaba el jugo fermentado del agave hace un siglo.

La industria del mezcal se limita a algunos Estados dentro de la República Mexicana: Oaxaca, Guerrero, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Sonora y Jalisco. La gran mayoría de las compañías dedicadas a este ramo dentro de los Estados antes mencionados, son compañías pequeñas y caseras con una producción artesanal, por lo cual, no han tenido desarrollo tecnológico alguno. Con excepción de algunas destilerías que se encuentran en Jalisco que producen "tequila", uno de los mezcales más conocidos, todos los demás productores de mezcal son pequeñas fábricas que venden su producto a comercializadoras. Las comercializadoras generalmente adulteran el producto y lo distribuyen con su propia marca.

La producción del tequila y mezcal constan de los mismos procesos y la única diferencia que se puede encontrar es el tipo de agave que se utiliza como materia prima. Sin embargo, algunas compañías tequileras han modernizado el equipo de elaboración del espirituoso. En lo referente a la extracción, han copiado el método y la maquinaria utilizada en la industria azucarera para la extracción del jugo de caña, pero en pequeña escala, considerando de ante mano que los trapiches o molinos de rodillos son lo más adecuado para exprimir las fibras del agave.

La industria del azúcar ha tenido una gran cantidad de estudios para la obtención del jugo proveniente de la caña, ya que es una industria mundial que elabora un producto de primera necesidad. Los parámetros que se manejan en los trapiches azucareros están completamente analizados por especialistas de distintas partes del mundo. Sin embargo, toda esta tecnología no se puede aplicar directamente a la extracción del jugo del agave debido a que son materiales diferentes. Sobre todo cuando el agave, antes de pasar a la extracción, requiere del cocimiento para la transformación de sus carbohidratos en azúcares reductores, haciendo el material más suave y jugoso. La caña, después de ser cosechada en el campo, sólo pasa por una desfibradora y entonces va directamente al molino para la extracción, por lo que requiere de una presión mayor para lograr la expulsión del jugo.

Las destilerías de tequila han ido implementando los molinos a sus líneas de producción basándose en experiencias de otras fábricas del ramo. Las primeras destilerías en adquirir estos equipos, compraron un solo molino de tres masas, después se colocó un tren de dos molinos y así sucesivamente. En la actualidad se encuentran destilerías con trenes de cuatro molinos que no dan resultados satisfactorios y por lo tanto, se está planeando adquirir otro molino o implementar alimentadores forzados para los molinos existentes. Se considera que el costo de los trapiches es muy elevado para experimentar

adquiriendo cada vez más trapiches para el tren. Por tal motivo, se cree que sería relevante conocer los parámetros que intervienen en la extracción del jugo, para poder realizar una buena elección, dentro de la amplia variedad de maquinaria que existe en el mercado para separar líquidos de sólidos.

I. ANTECEDENTES

La palabra "mezcal" se deriva de dos vocablos náhuatl: "metl" que hace referencia a todos los agaves en general e "ixcalli" palabra que se relaciona con hornear o cocinar. De esta forma la palabra "mezcal" se refiere a todo licor proveniente del agave [1].

Los Indios de México utilizaban el corazón del agave o maguey cocido como alimento en las zonas áridas y semiáridas antes del desarrollo de la agricultura, durante el período precolombino. También de esta planta obtenían medicinas, fibras y una bebida muy nutritiva, rica en proteínas al cocinar, moler y fermentar el agave [2].

Todos los productos que se obtenían del agave tenían un gran valor, tanto económico como social [1]. El jugo fermentado del agave era bebida indispensable en ciertas ceremonias religiosas para los nobles y sacerdotes [2].

El pulque, de manera similar al mezcal, es otro fermentado que se obtiene de un producto del maguey llamado "aguamiel" y que también tenía una gran importancia como brebaje alcohólico entre los indios y mestizos de la Mesa Central. Así lo indica un mural de la Gran Pirámide de Cholula; "Los bebedores de Pulque", que data del año 200 A.C. y muestra el significado histórico del pulque como medio para un ritual de intoxicación [1].

Aunque el consumo de bebidas fermentadas, particularmente el mezcal, era costumbre entre los indios de la costa del Pacífico de México, desde Sonora hasta Oaxaca antes de la conquista, la destilación era desconocida en la época precolombina [1].

Fue hasta el Siglo XVI que se introdujo a México el alambique y los conocimientos de la destilación por los españoles y filipinos [1]. Una versión modificada

del alambique colonial español, es el que actualmente se utiliza todavía para destilar el mezcal. Los filipinos trajeron el alambique tipo asiático, que tiene un receptáculo interno y fue usado por los indios Cora y Huicholes en Nayarit y Jalisco [1], para producir el mezcal que le llamaban "vino de chorrera" o "vino de campanilla". Este nombre le fue dado, ya que a este tipo de alambique o "destiladera" se le llamaba "alambique de gotera o de campana" [3].

Después de la incorporación del alambique al proceso de elaboración del mezcal, la mayoría de los indios de la costa del Pacífico suspendieron la fabricación de éste. Sólo remotas tribus de indios Tarahumaras, Tepehuanos, Cora y Cuariño continuaron con la tradición del mezcal llevando a cabo la destilación [1].

Durante los Siglos XVII y XVIII, los españoles trataron de suprimir la destilación de licores en las colonias, para evitar la competencia con los vinos y brandies importados de España, pero sin tener éxito alguno. El mezcal o aguardiente se siguió produciendo de forma ilegal, haciendo sólo pequeñas modificaciones de los métodos y técnicas comunes de destilación en el período colonial. Los españoles no encontraron la forma de imponer un impuesto a la fabricación de dicho licor, que además de tener un sabor y una concentración de alcohol estupenda, tiene propiedades muy saludables cuando se consume con moderación, según los aficionados al mezcal [1].

Algunas leyendas cuentan de las numerosas propiedades curativas del mezcal cuando es consumido con moderación y de acuerdo a las necesidades de la salud. Estas propiedades se reconocían sobre todo en lugares donde el agua no era muy saludable, como en Sonora, donde se conocía que el mezcal estimulaba el apetito, fortalecía el estómago y ayudaba a la digestión [1].

La primer fábrica de vino mezcal se estableció en el año de 1621 trabajando de forma clandestina [2], y fue hasta el año de 1795 cuando José María Cuervo recibió del rey de España la primer concesión para producir tequila [4].

En el año de 1873 el Sr. Cenobio Sauza adquiere la fábrica de mezcal "La Antigua Cruz" y ese mismo año comienza la exportación enviando 6 botijas y 3 barriles hacia los Estados Unidos. Dicha fábrica, cambió de nombre en el año de 1888 por el de "La Perseverancia", lugar donde se produce actualmente el Tequila-Sauza [5].

Durante la época del virreinato, la próspera agro-industria basada en el licor de mezcal estaba establecida en innumerables haciendas, debido a que producía buenas ganancias [1]. Así, áreas considerables en la zona de San Luis Potosí y Zacatecas eran destinadas al cultivo del maguey [6]. En Sonora, debido a las sequías que limitaban el desarrollo de granjas y ranchos, muchas familias se dedicaban a la fabricación de mezcal para poder subsistir e incrementar sus ingresos. De este modo, en Sonora la producción esporádica del mezcal era una tradición y un suceso esperado por los hombres de rancherías y pueblos aledaños [1].

El método tradicional de producción de mezcal era igual desde Sonora hasta Oaxaca. Para obtener 40 litros de mezcal era necesario recolectar de 60 a 70 cabezas de agave y se requerían de 12 a 15 días. Este era el tiempo requerido para cosechar los agaves, reparar el agujero para el horneado y la fermentación y la colocación del alambique [1].

Para ese entonces la destilación del jugo de agave estaba regularizada y bajo la protección del gobierno, convirtiéndose en un factor primordial en la economía de la Nueva Galicia [1] (Jalisco, México) [4].

En la actualidad encontramos distintos tipos de mezcal, esto se debe esencialmente, al tipo de agave que se utiliza. Aunque en ocasiones pueden encontrarse diferentes equipos para producir el mezcal, los procesos son similares y la secuencia de éstos no varía [3].

Como algunos ejemplos de los diferentes mezcales se encontraron [4]:

El Tequila de Jalisco.

El Mezcal de Olla de Oaxaca.

El Bacanora de Sonora.

El Sotol de Chihuahua, Coahuila y Durango.

El Mezcal de San Luis Potosi y Zacatecas.

De forma regional se encontraron:

El Tuxca de Tonaya, Jal.

El Raicilla de Puerto Vallarta, Jal.

El Barranca de Tapalpa, Jal.

Uno de los mezcales más conocidos es el "Tequila", hecho en base al *agave tequilana* o "Agave azul" [1], planta que se cultiva en los Estados de Michoacán, Nayarit, la parte sur de Tamaulipas y principalmente en Jalisco [2, 7].

Dentro de Jalisco, hay dos zonas donde se cultiva el 90% del "Agave azul" de todo el Estado. Una de estas zonas es conocida como "Los Altos" que se encuentra hacia el noreste de Guadalajara en la porción oriente del Estado y la otra zona productora se encuentra alrededor del pueblo de Tequila, Jal., del cual toma su nombre el famoso mezcal, hacia el noroeste de Guadalajara. Sumando los cultivos de ambas zonas, Jalisco cuenta con más de 16,000 hectáreas plantadas con "Agave azul". El 50% de las fábricas de tequila se encuentran establecidas en la región de Tequila, Jal. y destilan el 80% de la

producción mundial. Gracias al extenso mercado tanto nacional como internacional, es uno de los productos de mayor exportación en México [2].

En el Estado de Sonora se produce un mezcal que toma el nombre del pueblo Bacanora, Son. Este mezcal se produce en base a dos agaves silvestres: el *agave pacifica*, abundante en la costa de la parte meridional del Estado y preferible para la producción de licor; y el *agave palmeri*, común en la porción norte de Sonora [1].

El mejor mezcal es el que ha sido añejado por 4 o 5 años, pero la mayor parte del mezcal se comercializa y se bebe inmediatamente después de que se produce [1].

En Chihuahua y Durango se utiliza otro miembro de la familia "agavaceas" llamado "Sotol" para hacer un mezcal conocido con el mismo nombre. El Agave Sotol se utiliza en Sonora para hacer mezcal, sólo cuando hay escasez de los otros dos agaves antes mencionados (*pacifica y palmeri*) [1].

En la zona de San Luis Potosí y Zacatecas al licor de agave se le conoce simplemente como "mezcal" y se hace en base al *agave salamina* o "Magüey verde" [3]. Este magüey lo podemos encontrar ampliamente distribuido dentro de los ejidos de la región del Altiplano Potosino-Zacatecano, que es una zona semi-desértica. De forma general, el magüey que se cosecha para la fabricación de mezcal, ha crecido de manera silvestre y por lo tanto, la densidad de plantas por hectárea es muy baja (1,138 a 2,775 plantas/hectárea) [3]. Los ejidos en esa región son muy extensos (ejidos de 50,000 hectáreas) y la capacidad de las fábricas es muy pequeña debido a sus procedimientos rústicos y anticuados, de ahí que no se prevea un desabasto de magüey para la destilación de mezcal [8]. Además, los ejidatarios se preocupan porque no se realice una sobre-

FALTA

PAGINA

9

2. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MEZCAL

2.1 CARACTERÍSTICAS Y CULTIVO DE LA PLANTA

La planta pertenece a la familia de las *Agavaceas* dentro del género *Agave*. Aunque también se dice que el género *agave* está comprendido dentro de la familia de las *amarilidáceas*, estando comprendido en la tribu *agavoide* [7]. A continuación se muestra la clasificación taxonómica del agave [5, 7, 11]:

Planta:	Xerófita
División o Tipo:	Fanerógama
Subdivisión:	Angiosperma
Clase:	Monocotiledónea
Subclase:	Inferrovariáceas
Familia:	Amarilidáceas o Agavaceas
Género:	Agave

Descripción:

1. Planta: perene
2. Raíz: fibrosa; longitud hasta 2 m.; profundidad entre 20 y 30 cm.; consistencia leñosa pero frágil.
3. Tallo: esférico, grueso, corto y ligeramente alargado. Del tallo se extrae la mayor cantidad de sustancias químicas para la elaboración del mezcal.
4. Inflorescencia: Se inicia en la parte superior del tallo (o sea donde está el ovario) al entrar en la fase de madurez, floreciendo una sola vez en la vida. Se le conoce como "quiate". En la parte superior y dispuestos en racimos salen varios grupos florales de

6 a 10 pétalos de color amarillento, de los cuales sale un fruto ovalado de color verde donde se encuentra la semilla, envuelta por el cálpeo de color negro.

5. Hoja: El nombre correcto es "penca". Son hojas sentadas, dispuestas en torno al tallo formando una roseta, de forma alargada y acanalada. terminando en una punta muy consistente; los bordes son aserrados y duros. El color va de verde claro hasta azul. De la base se extrae gran cantidad de azúcares.

Las pencas están compuestas de una fibra más suave y fina que la del henequén, y sólo en algunas ocasiones se utilizan para mezclarlas con otras fibras para la elaboración de bramantes o cordeles de fibra [11]. Pero en la mayoría de las ocasiones, las pencas que se cortan de una planta, no se utilizan en lo absoluto. Las hojas tienen de 6 a 15 cm. de ancho en la base y 1.25 a 2 m. de largo; son cóncavas, delgadas y con un color que puede ser verde intenso (*agave salamina o crassispina*) o verde azulado (*agave tequilana*) o verde amarillento (*agave pseudo tequilana*) dependiendo de la especie. En ambos bordes, la penca tiene una hilera de espinas rojas o purpúreas garfeadas hacia arriba de 3 a 5 mm. de largo y en la punta de la penca, una púa de aproximadamente 3 cm. [11].

Después de 8 a 10 años que fue sembrada la planta [11], las pencas comienzan a dirigir sus puntas hacia arriba, lo que indica, que se ha iniciado la formación del quiote o escapo floral. El agave es una planta monocárpica y sólo florece una vez en su vida [6, 7, 12]. El quiote tarda en formarse entre 1 y 2 meses, alcanzando una altura de 3 a 5 m. dependiendo de la variedad [7]. En la parte superior del escapo floral, brotan unas flores amarillas que producen frutos en forma de cápsulas que contienen las semillas para su reproducción [6]. En la punta, el vástago floral presenta ramas delgadas dispuestas en forma ascendente y ramilletes erguidos de flores amarillas que luego son reemplazadas por bulbillos [6]. Las flores permanecen cerca de un año, después del cual, se caen y la planta comienza a morir, primeramente por las hojas más cercanas a la base, hasta que por

último, el quiote también se seca después de 2 o 3 años. A continuación se mencionan algunas especies de agaves que se utilizan para la elaboración de mezcal principalmente en la parte occidental de nuestro país, desde Sonora hasta Oaxaca [1, 5, 7, 9, 11, 12, 13]:

<i>Agave tequilana</i>	"Agave azul o Chino azul"
<i>Agave salamina o crassispina</i>	"Mezcal o Maguey verde"
<i>Agave pseudo tequilana</i>	"Mezcal blanco"
<i>Agave subtilis</i>	"Chato o Sahuayo"
<i>Agave palmeris</i>	"Mano larga o Chino bermejo"
<i>Agave pes-mulae</i>	"Pata de mula"
<i>Agave funkiana</i>	"Lechuguilla"
<i>Agave cantala o sigguin</i>	"Criollo"
<i>Agave Longisepala</i>	"Mezcal grande o Raicilla"
<i>Agave Cupreata</i>	"Moraleño"
<i>Agave angustifolia</i>	"Espadín"
<i>Agave potatorum</i>	"Tobalá"
<i>Agave americana</i>	"Arroqueño"
<i>Agave cantala</i>	"Cincoañero"
<i>Agave macroacantha</i>	"Mexicano"
<i>Agave karwinski</i>	"Cirial"
<i>Agave marmorata</i>	"Tepextate"

Otros:

Agave pacifica, *A. pelona*, *A. zebra*, *A. wocomahi*, *A. shrevei*, *A. jaiboli*, *A. sotoi*, *A. striata*, *A. filifera*, *A. intrépida*, *A. barrida*, *A. collina*, *A. persivela*, *A. atrovirens*, *A. Burgaei*.

Por lo general, el agave que se utiliza para la fabricación de mezcal crece de manera silvestre, solamente en la zona de Jalisco se pueden observar cultivos bien definidos de plantaciones de "Agave azul".

Cuando se cultiva, se hacen hileras de hoyos para plantar hijuelos a una distancia que va de 1.8 a 2.0 m. La separación entre las plantas en una hilera es de 1.8 m., de esta forma, el número de plantas contenidas en una hectárea fluctúa entre 2,500 y 2,777 plantas por hectárea. En ocasiones cuando los terrenos están en planicies se pueden cultivar hasta 4,500 plantas por hectárea [2].

La distancia entre las hileras muchas veces se afecta cuando se prepara la parcela para sembrar dos cultivos a la vez, el agave y uno de cosecha anual, como puede ser: frijol, maíz, cacahuete, etc [2]. En este caso, la distancia entre plantas dentro de una hilera no cambia, pero la distancia entre hileras llega a ser hasta 4 m. [13] con el objeto de cada año poder entrar a cosechar y sembrar de nuevo el otro cultivo, mientras el agave continúa con su desarrollo. Esta práctica se realiza durante los primeros 4 años de crecimiento del agave [7].

La tierra debe ser preparada con el arado y los discos; los surcos y la excavación de agujeros deben hacerse con el propósito de crear las condiciones óptimas para ambos cultivos [2].

Un fabricante de tequila que ha integrado por completo su destilería (desde el cultivo del agave hasta la venta al menudeo, mayoreo y exportación del tequila), indica en base a su experiencia que el cosechar otro cultivo anualmente, al mismo tiempo que el agave continúa su crecimiento, retarda el tiempo de maduración en comparación con un agave de monocultivo [14].

Dentro de las plantaciones comerciales de agave se realizan prácticas químicas, mecánicas o manuales para controlar la hierba que crece dentro del cultivo, así mismo, se aplican fertilizantes químicos y orgánicos, acondicionadores de suelo y de control de plagas para lograr un mejor aprovechamiento del terreno [2].

La propagación del agave puede realizarse por dos maneras diferentes: la forma más común, es por medios vegetativos, usando los retoños o hijatos que produce la planta madre cada año alrededor de su base; o por medio de la semilla que se encuentra dentro de los frutos que produce la planta al madurar [7].

Los vástagos o hijatos se originan alrededor de la base de una planta, al final de un rizoma [6], el cual constituye la conexión con la planta madre y puede producir entre 10 y 15 hijatos o mecuates al año [7].

Los hijatos se extraen para ser transplantados a la parcela o se llevan a un vivero, donde se tratan las raíces del retoño dejándolas en una mezcla de formol y agua durante un mes, para que la raíz se endurezca. Una vez transcurrida la operación anterior, los vástagos se siembran en seco (sin riego artificial) en los invernaderos, para recibir un cuidado especial a lo largo de uno o dos años, después de los cuales se lleva el retoño hacia donde será su lugar definitivo. Esta plantación se realiza, por lo general, en la temporada de lluvias colocando el agave de 750 gr. aproximadamente en surcos de 30 cm. de profundidad, con una separación entre plantas de 1.8 m. dentro de un surco y una distancia entre surcos de 1.8 a 2 m., como ya se había mencionado antes [2].

En las zonas donde no se tienen cultivos bien definidos de agave, se transplantan los retoños de las plantas madres hacia lugares poco poblados con agave, para prevenir una escasez en el futuro [8].

Diferentes estudios han concluido que los terrenos favorables para el cultivo del agave son: los suelos ferrosos, con arcilla, arenosos, los formados sobre piedras volcánicas, de textura ligera y que drenen muy bien el agua. No importando mucho si son poco profundos y aluviales, aunque siempre habrá mejores resultados en suelos fértiles. El agave puede sobrevivir en terrenos de topografía muy accidentada, pero no soporta el exceso de humedad por periodos prolongados [2, 4, 5, 7, 15].

Para el buen desarrollo del "Agave azul" se requiere de un clima seco, con una temperatura media entre 17 y 25 °C., por lo que casi siempre se le encuentra en zonas áridas y semiáridas; con un régimen pluviométrico entre 700 y 936 mm. y una altitud entre 800 y 2,100 m.s.n.m. [2, 7, 15].

Por su parte el "Maguey verde" requiere de 326 a 503 mm. de precipitación anual, una altitud de 1,800 a 2,400 m.s.n.m. y una temperatura de 16 a 18 °C. El hábitat del maguey son cerros, llanuras y laderas pedregosas, con suelos aluviales, de poca profundidad, con texturas medias y con un pH de neutro a ligeramente ácido [6].

Dentro de una misma zona los agaves que crecen en los cerros y en suelos con alguna pendiente, tienen mayor rendimiento de carbohidratos que los agaves de las llanuras y suelos nivelados. Si las condiciones de desarrollo de la planta son muy húmedas, la planta produce menos azúcares pero acelera el tiempo de maduración sexual, lo cual se presenta con la formación del escape floral o "quiote", del cual brotarán las flores, los frutos y la semilla.

En la parte superior del tallo de un agave, que según sus características morfológicas está apto para florear (mezcal acarrillado), se puede encontrar la inflorescencia o botón, el cual es una púa corta, negra y delgada. El mezcalero al

encontrar dicha yema floral, la corta transversalmente con un cuchillo lo más cerca de su base, a esta operación se le llama la "castración, capazón o picazón". Al remover el botón que no ha floreado y que habría formado el quiote, debe encontrarse un agujero en la porción cortada, lo cual demuestra la disposición de la planta para la floración. Si no se encuentra el orificio, entonces se procede a regresar las hojas blancas que fueron cortadas del botón. En ocasiones la planta no sufre daño alguno y los mezcaleros deben esperar hasta encontrar las condiciones óptimas para que la creciente inflorescencia sea extraída; pero algunas veces el daño realizado a los meristemas vegetativos produce la muerte prematura de la planta [3].

La operación de castración del maguey también se realiza cuando la planta va a ser destinada para la elaboración de pulque [1]. Para esto, en el orificio que se encuentra al remover el botón, los pulqueros agregan agua y al cabo de poco tiempo (24 hr.) esa agua se ha transformado en "aguamiel", la cual se extrae y se deja fermentar para obtener así el pulque.

El realizar la castración, es con el objeto de que los carbohidratos que iban a formar el quiote se acumulen en el tallo de la planta, de esta forma, el tallo engorda y el jugo que se obtiene del agave tiene un mayor rendimiento en cuanto a azúcares fermentables se refiere [1, 2, 3].

Los magueyes que han formado el quiote y los que no han sido castrados aún, no deben ser usados para preparar mezcal, ya que son ácidos y amargos por no tener los suficientes almidones en el tallo, por lo que la práctica de lo anterior, repercutiría en una pobre utilización de la materia prima.

2.2 COSECHA DEL AGAVE

Después de la castración, que puede llevarse a cabo en cualquier época del año, el agave se deja reposar para que su tallo engorde con la acumulación de azúcares. El tiempo de reposo puede ir de 6 a 18 meses dependiendo de las políticas de cosecha del agricultor.

El Agave azul debe ser cosechado cuando la base de sus pencas comienza a arrugarse, a expulsar ácido clórico [2] y a cambiar de color, comenzando en amarillo, rojado, rojizo y café consecutivamente [13]. Si la planta no se cosecha cuando la base de las pencas se han tornado de color café, comienza a descomponerse y a fermentarse sobre el terreno, debido a la gran cantidad de azúcares que contiene, por lo que esta planta ya no se utiliza para el proceso de mezcal y se desecha por completo, perdiendo el trabajo que se ha invertido en ella [14].

En Arandas, Jal., se observó que la cosecha de una parcela se realiza en tres etapas: la parcela, después de 7 a 10 años dependiendo de la variedad del agave y de las condiciones climatológicas, se revisa visualmente y se señalan los agaves que de acuerdo a su tamaño y estado de maduración, están aptos para ser cosechados, entonces se lleva a cabo la primer cosecha; al año siguiente, se realiza sobre la parcela la segunda cosecha bajo el mismo método de selección y por último, al segundo año se hace la tercer cosecha sobre la parcela, levantándose todos los agaves, aunque algunos todavía no hayan llegado al tamaño satisfactorio. Esto es debido a que, ya no es redituable para el agricultor esperar otro año más a que esos agaves crezcan, retardando un año el siguiente cultivo [7, 14].

El ciclo vegetativo del agave depende de muchos factores como son: la especie; variedad; calidad y topografía del suelo; condiciones climatológicas y las atenciones culturales que se tengan durante su desarrollo. Debido a esto, dentro de una plantación se

presentan muchas diferencias en el desarrollo de agaves de la misma edad (excepto en plantas que provienen de viveros) [7].

La práctica que se describió anteriormente, se realizó en cultivos bien determinados de Agave azul. Pero en la zona de San Luis Potosí y Zacatecas, no hay parcelas bien definidas, sino que, el maguey crece de manera silvestre, en los ejidos se puede encontrar magueyes de todas las edades sin uniformidad alguna. El único cuidado que se tiene es la castración, pero cuando el maguey crece en zonas de difícil acceso no se castra, permitiendo que brote el quiole de la planta y haya reproducción por medio de la semilla. Además, no es posible para las fábricas procesar todo el maguey de los ejidos circunvecinos, ya que son ejidos de decenas de miles de hectáreas y que su única producción es el maguey. En esta zona de la República se recorren los ejidos localizando los magueyes que están maduros y la cosecha se realiza por regiones [8].

En todo el país se lleva a cabo la cosecha o jima de forma manual. En la porción de Jalisco se usa una herramienta denominada "coa" o "fierro desvirador", que consta de un fierro en forma de media luna y que se coloca en la punta de un mango de madera (fig. 4.1).

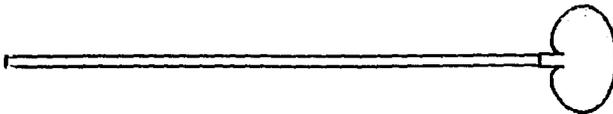


Fig. 4.1. Fierro desvirador o coa.

Con la coa se cortan algunas pencas para poder acercarse e inclinar el agave con el pie, y así poder cortar la base de la piña. Cuando la raíz ha sido separada, entonces se

acuesta el maguey y se rueda hacia la parte donde ya no tiene hojas para terminar de desvirar las pencas, pero atacando con el fierro desvirador de la base de la planta hacia la parte superior, lo que permite cortar las pencas lo más al ras posible. Las piñas que han sido cosechadas, se montan en una carretilla para llevarlas a la orilla de la parcela, donde se suben al camión que las transportará hacia la fábrica.

Las pencas del agave se quedan esparcidas en el lugar donde fueron cortadas, sin aprovechamiento alguno. Las hojas se descomponen sobre el terreno reintegrándose al suelo de la parcela.

Al tronco o tallo del agave se le conoce con diferentes nombres: "cabeza", "corazón" del agave o "piña", por su forma parecida a dicha fruta, siendo éste último, el término más utilizado.

En la zona de San Luis Potosí y Zacatecas a los magueyes que han sido localizados, se les cortan las pencas desde su base con un machete. La persona que realiza esta operación se conoce como "desvirador". Después, la persona conocida como "tumbador" utiliza la "barra tumbadora" (fig. 4.2), una herramienta que es una barra de acero que termina en forma de gota, con la cual se van sacando cuñas de la base del maguey. Una vez que la barra ha penetrado horizontalmente en la base, el tumbador impulsa hacia arriba el otro extremo de la barra con el objeto de arrancar el maguey de sus raíces y voltearlo.

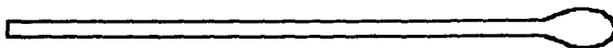


Fig. 4.2. Barra tumbadora.

Por último, con el machete termina de cortar las hojas secas que se encuentran más cercanas a su base, ya que como habíamos mencionado antes, el maguey comienza a secarse primero por las hojas más cercanas a las raíces, para finalizar con las hojas superiores del centro o con el quiate, en caso de no haber sido castrado.

La cosecha del agave aunque es realizada con gran habilidad por parte de los "desviradores y tumbadores", requiere de un gran esfuerzo físico. El tiempo promedio para quitar las pencas y arrancar por completo la planta del suelo es alrededor de 5 min.

Después de que las piñas han sido desprendidas del suelo, los cargadores deben llevarlas hacia el camión que las transportará hacia la fábrica. Los cargadores colocan una piña sobre su cabeza y caminan cerca de 50 m. hasta el camión, donde la depositan directamente sobre la plataforma del mismo. Esta tarea es la actividad más pesada en cuanto a esfuerzo físico se refiere, considerando que hay piñas que alcanzan un peso de 150 kg. En muchas ocasiones se presentan molestias en la espalda y la cabeza de los cargadores después de algún tiempo de desempeñar esta labor.

En general, la cosecha puede realizarse en cualquier época del año, pero es recomendable no efectuar la jima durante la temporada de lluvias. En los cultivos es conveniente suspender el riego tiempo antes de la cosecha. Esto se debe a que cuando la planta retiene más agua, se afecta su rendimiento de azúcar por encontrarse más diluidas las sustancias que más tarde, al hidrolizarse, producirán los monosacáridos.

Principalmente en la región de Jalisco existe un mercado alrededor del agave, donde el precio por kilogramo varía en base a la ley de la oferta y la demanda del producto. En el tiempo que se realizó la visita a las fábricas en la zona de "Los Altos", Jal., el precio era de N\$ 0.70 nuevos pesos por kilogramo (octubre de 1993). Debido a

esto los camiones que transportan el agave son pesados y tarados antes de descargar en las destilerías.

En la zona de San Luis Potosí y Zacatecas el maguey se vende por pieza y el costo de la materia prima es incomparablemente menor que en Jalisco, puesto que el precio de una piña completa, sin importar su peso, está entre N\$ 0.20 y 0.23 nuevos pesos (septiembre de 1993). Los dueños de lo ejidos asignan a una persona que acompaña al equipo de cosecha para contar el número de magueyes que son cosechados.

2.3 COCIMIENTO DE LOS TALLOS DE AGAVE

El cocimiento o la cocción es el proceso por medio del cual se transforman los carbohidratos en azúcares simples conocidos como sacarosa, glucosa, lebulosa y fructosa. La mayor parte de los carbohidratos que contiene la planta, fueron acumulados durante el tiempo que permaneció el agave "repollando" o almacenando almidones después de la castración.

Las piñas contienen ácidos y reservas de almidones llamados sustancias aliláceas, carbohidratos o polisacáridos que durante la cocción, por la acción de la temperatura, de la acción ácida y de la enzima llamada invertasa, se hidrolizan. La hidrólisis es la reacción de una sal, de un ácido y/o una base con agua, invirtiendo o desdoblando los almidones o sustancias complejas en azúcares simples, reductores o invertidos, sustancias que son directamente fermentables por las levaduras alcohólicas [5].

Un aspecto muy importante para el buen cocimiento de las piñas, es el tiempo que se conceda para que se produzca el rompimiento y desdoblamiento de las sustancias complejas en simples. Por tal motivo, después de la cocción con vapor se deja el agave dentro del horno reposando por un tiempo mayor que el de cocimiento; así se realiza en casi todas las destilerías sin importar el tipo de horno que utilicen.

Es muy común en la industria tequilera, que las piñas no se coloquen completas dentro del horno. Generalmente las piñas son partidas en el patio de recibimiento a golpe de hacha en 2 o 4 partes, con el fin de exponer más la superficie interna al vapor y quitar la parte del quiote que se encuentra dentro del tallo puesto que da un sabor amargo. Al entrar las piñas al horno partidas en pedazos, se hace el cocimiento más fácil, más uniforme y se aprovecha mejor el espacio del horno [5]. Cuando las piñas se colocan

2.3 COCIMIENTO DE LOS TALLOS DE AGAVE

El cocimiento o la cocción es el proceso por medio del cual se transforman los carbohidratos en azúcares simples conocidos como sacarosa, glucosa, lebulosa y fructosa. La mayor parte de los carbohidratos que contiene la planta, fueron acumulados durante el tiempo que permaneció el agave "repollando" o almacenando almidones después de la castración.

Las piñas contienen ácidos y reservas de almidones llamados sustancias aliláceas, carbohidratos o polisacáridos que durante la cocción, por la acción de la temperatura, de la acción ácida y de la enzima llamada invertasa, se hidrolizan. La hidrólisis es la reacción de una sal, de un ácido y/o una base con agua, invirtiendo o desdoblando los almidones o sustancias complejas en azúcares simples, reductores o invertidos, sustancias que son directamente fermentables por las levaduras alcohólicas [5].

Un aspecto muy importante para el buen cocimiento de las piñas, es el tiempo que se conceda para que se produzca el rompimiento y desdoblamiento de las sustancias complejas en simples. Por tal motivo, después de la cocción con vapor se deja el agave dentro del horno reposando por un tiempo mayor que el de cocimiento; así se realiza en casi todas las destilerías sin importar el tipo de horno que utilicen.

Es muy común en la industria tequilera, que las piñas no se coloquen completas dentro del horno. Generalmente las piñas son partidas en el patio de recibimiento a golpe de hacha en 2 o 4 partes, con el fin de exponer más la superficie interna al vapor y quitar la parte del quiote que se encuentra dentro del tallo puesto que da un sabor amargo. Al entrar las piñas al horno partidas en pedazos, se hace el cocimiento más fácil, más uniforme y se aprovecha mejor el espacio del horno [5]. Cuando las piñas se colocan

completas dentro del horno hay muchos espacios libres entre ellas debido a la forma esférica de éstas.

Para el cocimiento se puede utilizar el horno de mampostería o las autoclaves. Los hornos son de forma cilíndrica o rectangulares y están hechos con gruesas paredes de piedra y argamasa o ladrillo, esto es con el objeto de aislarlos térmicamente al exterior. Por la parte lateral, tienen una puerta para realizar la carga y descarga. El techo es en forma de bóveda con un agujero en el centro, por donde se termina de llenar el horno con el material. En la parte posterior de los hornos, hay rampas por donde sube el transporte al nivel techo del horno y depositan el material por el hoyo superior. Una vez lleno el horno con las piñas, tanto la entrada lateral como la del techo se cierran con puertas de madera y se fijan con vigas. En los bordes de las puertas se pone bagazo con el propósito de sellar las fugas de vapor.

El piso del horno puede ser acanalado o con un enrejado de vigas de madera para permitir el drenaje del jugo durante el cocimiento. El jugo es recolectado en un estanque que se encuentra junto a los hornos y a dicho jugo se le conoce como "guixi" o "mieles amargas". La capacidad de este tipo de hornos puede ser de 15 a 50 ton. de agave, dependiendo de las dimensiones del horno.

Después de llenar un horno con la materia prima, se inicia la introducción del vapor de agua proveniente de una caldera; el vapor entra al horno entre una temperatura de 90 y 110 °C. [12, 15]. El tiempo de cocimiento en el horno puede ir de 24 a 36 horas con admisión de vapor y de 12 a 48 horas de reposo según los procedimientos de la fábrica [2, 3, 4, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

La persona a cargo del proceso de cocción se le llama "fainero" y debe de estar pendiente del tiempo y de la cantidad de vapor que se está agregando al horno. Tanto el llenado como el desalojo del horno se realiza manualmente y a las personas encargadas de esto se les llama "echadores fuera".

Anteriormente el proceso comenzaba con el horneado de las piñas, para lo cual se utilizaba un agujero en la tierra con el fondo y las paredes cubiertas de piedra. Dentro del agujero se hacía fuego con leña y se colocaban piedras volcánicas, con el objeto de que conservaran el calor. Una vez que las piedras se habían calentado hasta alcanzar un color blanco, entonces se colocaba una capa de pencas de agave y nopal sobre el carbón y las piedras para que las piñas no entraran en contacto directo con el calor y se quemaran. Después de haber colocado las piñas sobre la capa de pencas, entonces se cubrían con ramas, pencas, bagazo, palmas y tierra, con la finalidad de que los vapores que se producían durante el cocimiento no se escaparan del horno. Por la parte superior se hacía un pequeño orificio para agregar agua y que hubiera vaporización dentro del horno. Las piñas permanecían cociéndose dentro del horno por 2 a 4 días, después de los cuales se destapaba el agujero y se sacaban las piñas para machacarlas. En algunas ocasiones cuando las piñas del fondo entraban en contacto con el carbón y las piedras calientes se quemaban y ya no se podían utilizar para exprimirlas [1, 12].

Un método de hornear la piñas que casi ha desaparecido del todo, es hacer fuego con leña debajo del horno de mampostería en lugar de introducir vapor. Por el techo se agregaba un poco de agua con el fin de que hubiera vaporización, pero las mieles que escurrían del horno tenían que ser desechadas, ya que se contaminaban con las cenizas del horno. El mezcal que se realizaba con este método de cocinar las piñas, tenía un sabor ahumado que no se puede encontrar en los mezcales y tequilas que en su proceso han

utilizado hornos de vapor. Este método, sólo es utilizado en la actualidad por algunas personas que se dedican a elaborar mezcal casero.

El instrumento moderno para llevar a cabo la cocción de las piñas es la autoclave y funciona con el mismo principio de las ollas de presión caseras. El cuerpo de la autoclave es un cilindro hecho de acero inoxidable o de hierro protegido con resinas epóxicas y puede estar colocado vertical u horizontalmente. Hacia ambos extremos del cilindro tiene puertas semi-esféricas del mismo material, que cierran por medio de un mecanismo que las sostiene y las acomoda en su lugar debido al peso de éstas. Una vez acomodadas las puertas, se ajustan y atornillan por medio de birlos y tuercas lo que permite sellar herméticamente, así al introducir vapor para el calentamiento, se produce el incremento de la presión y por consecuencia el aumento de temperatura del vapor por arriba de los 100 °C. acelerando el proceso. Si la presión aumenta, entonces el tiempo que se requiere para alcanzar el desdoblamiento máximo de carbohidratos se reduce [17, 18], como se muestra en la figura 4.3.

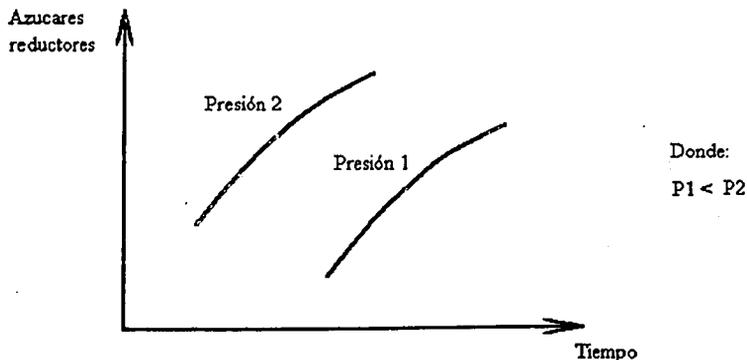


Fig. 4.3. Relación Azúcar -vs- Tiempo

Dentro del cuerpo cilíndrico hay una rejilla de acero en la parte baja que permite el drenaje de las mieles durante el proceso. El color ámbar de las mieles que se obtienen por el tubo de recolección de la autoclave, indica el momento en que se debe detener el cocimiento, estas mieles son amargas y se utilizan para alimentar la levadura [15].

El agave puede introducirse a la autoclave partido en trozos o desfibrado:

- En una autoclave la carga y descarga de los trozos de piñas se puede realizar de forma manual o mecánica, y durante el cocimiento se inyecta vapor por aproximadamente 8 - 12 horas, más 0 - 10 horas de reposo antes de comenzar a descargar [2, 19, 7, 15].
- Para cocer el agave desfibrado, la piña pasa por dos juegos de cuchillas que la desfibran completamente. La fibra cruda se lleva a las autoclaves verticales por medio de transportadores. La autoclave tiene un poco de agua (3% de la capacidad) antes de recibir la fibra. Al llenar la autoclave se coloca la tapa y se inyecta vapor por 8 hrs. elevando la presión. Terminado el cocimiento se vacía el jugo por medio de una válvula y después se abre la tapa inferior. Las fibras del agave caen al suelo y con montacargas se transporta la fibra caliente hacia el molino para la extracción [20].

La capacidad de las autoclaves puede estar por arriba de las 100 toneladas, lo que demuestra una mayor eficacia que los hornos de mampostería en el proceso de cocción. Lo anterior representa una gran diferencia en tiempos y capacidades para la realización de este proceso, además la carga y descarga pueden realizarse de forma mecánica. El inconveniente que tienen estos instrumentos, es que cambian las cualidades gustativas del producto y además, si el proceso se acelera demasiado, el agave puede despedir gases tóxicos [15]. Por tales circunstancias, hay compañías que habían adquirido autoclaves y ahora están regresando a los métodos tradicionales de cocimiento con hornos de mampostería debido a los cambios que ha sufrido su producto.

2.4 EXTRACCIÓN

La extracción se realiza con el propósito de exprimir las piñas y obtener el jugo con los azúcares reductores para después llevarlo a la fermentación. Anteriormente la finalidad era sólo desfibrar el agave y liberar un poco el jugo de las fibras, para llevar a las tinas de fermentación el jugo junto con la fibra [15]. Pero en la actualidad, la finalidad es separar los líquidos de los sólidos y extraer la mayor cantidad de azúcar del bagazo. En esta forma, el jugo se hace más manejable puesto que se utilizan bombas para transportar el líquido entre los procesos.

La extracción o molienda se podía realizar de diferentes maneras, algunas de las cuales, aún continúan utilizándose en fábricas caseras y donde no cuentan con maquinaria moderna. La manera más rústica de realizar este proceso, era golpeando con un palo o mazo de madera al agave cocido dentro de una batea o sobre una tabla de madera de encino, mesquite o tepeguaje. Después se usó un pisón (cubo de madera con mango), con el que se amasaba el agave previamente cortado en pedazos con un machete y colocado dentro de una pileta circular de 50 cm. de profundidad y 5 m. de diámetro. El piso estaba cubierto de lajas colocadas de canto para que ayudaran al desgarramiento de material [4].

Después, dentro de la misma pileta se usó la rueda de piedra jalada por animales y se le dió el nombre de "tahona", palabra árabe que significa molino (fig. 4.4) [4]. Este método se sigue utilizando en la actualidad por fábricas que elaboran el tequila y mezcal de manera artesanal. La tahona consta de una piedra circular de 1.5 m. de diámetro, 50 cm. de ancho y un peso aproximado de 2 ton. En el centro de la pileta se encuentra un pilar que sostiene el extremo del eje, un tubo de acero que pasa por el centro de la rueda de piedra. El otro extremo del eje era tirado originalmente por una yunta de animales de tiro y en la actualidad, por un tractor agrícola de baja potencia, haciendo girar la piedra

con respecto al pilar central. La piedra al rodar aplasta el maguey que se encuentra dentro de la pileta.

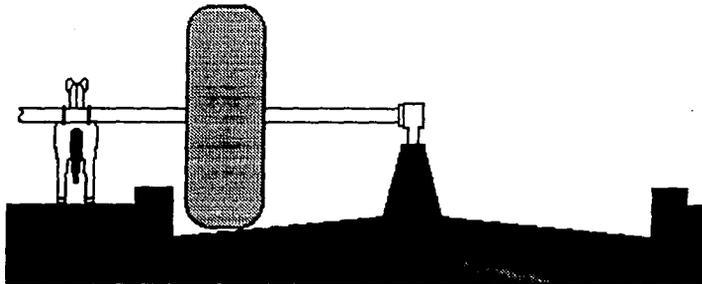


Fig. 4.4. Tahona.

La tahona puede estar fija en algún punto del eje, o sea que su distancia al pilar central no cambia y su trayectoria es un círculo. Los "tahoneros" son las personas que se encuentran dentro de la pileta circular, acomodando el maguey sobre la huella de la piedra. Los tahoneros parten con hachas los trozos más grandes de maguey cocido y jalan y enciman la fibra con bieldos y una herramienta llamada "chivo" (fierro con dos picos curvados y un mango de madera), formando un anillo de bagazo de 70 cm. de ancho y 60 cm. de altura bajo la rodada de la rueda de piedra [8].

En algunas fábricas se ha visto que la tahona corre a lo largo del eje, por lo que al girar recorre una trayectoria en espiral. Dentro de la pileta se encuentran los tahoneros con chivos, volteando y aflojando el maguey que ha sido apisonado por la piedra. De esta

forma, la capa de material es más delgada y la capacidad de la tahona es mayor que cuando la piedra está fija en el eje [14].

En las fábricas de tequila que se han modernizado se pueden encontrar trapiches realizando la extracción del jugo. Los trapiches son molinos de tres mazas como los que se utilizan en la industria azucarera para obtener el guarapo de caña. Los molinos de rodillos presentan los siguientes inconvenientes en la extracción del jugo del agave:

- Los trapiches requieren de alta potencia instalada.
- La inversión de un molino es grande.
- Los costos de mantenimiento son altos.
- El rendimiento no siempre es satisfactorio.
- Los molinos en la mayoría de los casos están sobre-dimensionados para la cantidad de material que procesan.

Para la extracción del jugo de agave con trapiches no hay tecnología desarrollada como lo hay para la caña de azúcar. En los trenes de molinos dentro de los ingenios se utilizan alimentadores para los molinos, niveladores de los colchones de bagazo, desfibradores, sistemas de imbibición, sistemas de maceración, etc. Esto representa que hay muchos parámetros que influyen en la buena extracción de un tren de molinos. Toda esta tecnología es difícil aplicarla directamente con buenos resultados a la extracción del jugo de agave, puesto que la materia prima es muy diferente, sobre todo cuando el agave ha sido cocido antes de la extracción. El cocimiento produce que la piña sea muy suave, jugosa, blanda y con un alto contenido de humedad.

2.5 FERMENTACIÓN

Después de la molienda, el agave amasado y apachurrado se colocaba dentro de otro agujero en la tierra llamado "barranco" para la fermentación. El barranco era un agujero con el fondo y las paredes cubiertas con piedras y selladas con arcilla y barro [1]. Junto con el jugo y la fibra de la molienda se agregaba agua y "xinantli" [14] (levadura) y se mezclaba todo con un palo de madera. El agujero se tapaba con una tela, sobre la cual se hacía una capa de lodo. El jugo podía permanecer fermentándose de 4 a 8 días, pero antes de sacar el jugo fermentado, se hacía una prueba para saber si ya era conveniente abrir el agujero de la fermentación. En la capa de lodo se hacía un orificio, por el cual se obtenía una muestra, si el jugo aún estaba dulce, entonces se volvía a tapar y se hacía una fogata sobre la capa de lodo para acelerar la fermentación. Sólo cuando el jugo ya no estaba dulce, entonces se destapaba y se sacaba el jugo fermentado para destilarlo [1].

Definición: La fermentación es todo proceso de cambios químicos llevados a cabo en un sustrato orgánico, y promovidos por la acción de unos catalizadores elaborados por microorganismos llamados enzimas [5].

La fermentación en términos prácticos es el proceso, por medio del cual, se transforman los azúcares reductores en alcohol gracias a la acción de las bacterias contenidas en la levadura. Dichas bacterias consumen azúcar y desechan el alcohol, hasta un punto, donde el nivel de alcohol que ellas mismas han producido las elimina [21].

El jugo que se va a fermentar debe prepararse con la cantidad de agua y los nutrientes necesarios para obtener la mayor cantidad de alcohol. Tanto el exceso como la falta de azúcar en el jugo no propician la fermentación [12]. Para obtener un buen rendimiento del proceso de fermentación es necesario diluir el jugo que se obtiene del

magüey pues el contenido de azúcar en el jugo es alto. El agua de imbibición que se utiliza en el proceso de extracción puede no ser suficiente para diluir el jugo hasta los niveles necesarios. Para diluir el jugo se utiliza la siguiente relación:

$$(\text{Volumen inicial}) (\text{°Brix inicial}) = (\text{Volumen final}) (\text{°Brix final})$$

Grado Brix.- Medida de la densidad o concentración de las soluciones de azúcar. Los grados Brix son iguales a un tanto por ciento del peso de sacarosa en la solución, que puede relacionarse empíricamente con la densidad [17].

El contenido de azúcar en el jugo obtenido de la extracción de las piñas dependerá del tipo de agave que se utilice y del grado de maduración en que se encontraba al realizar la cosecha. En promedio el jugo obtenido del Agave azul contiene entre 20 y 24 °Brix, mientras que para el Magüey verde el contenido de azúcar es un poco menor y se encuentra alrededor de 17 °Brix.

El nivel de azúcar en el jugo a fermentar o el grado de dilución, depende de la resistencia al alcohol de la levadura. Pero generalmente se ha visto que los mostos a fermentar se encuentran entre 9 y 12 °Brix.

La riqueza alcohólica que se obtendrá del mosto depende de la diferencia en el grado Brix del mosto al iniciar y al terminar la fermentación. También depende de un factor que se obtiene de acuerdo a los porcentajes de sacarosa y lebulosa concentrados en las mieles [13].

$$\text{Riqueza alcohólica} = 0.52 (\text{°Brix antes de ferm.} - \text{°Brix después de ferm.})$$

Con la riqueza alcohólica se pueden estimar los litros de licor que se pueden obtener de un determinado volumen de mosto [13].

$$\text{Litros de licor a } X \text{ }^\circ\text{G.L.} = \frac{(\text{Riqueza Alcohólica}) \times (\text{Volumen de mosto})}{X \text{ }^\circ\text{G.L.}}$$

Existe una norma oficial para el tequila, que prohíbe tener más de 10 °Brix en el jugo que se va a fermentar. Esta prohibición fue creada para mantener en un nivel bajo la cantidad de alcoholes dañinos, como el alcohol metílico o metanol. Las fábricas de tequila son frecuentemente revisadas para que su producto no rebase cierto nivel de alcohol metílico.

Durante la fermentación se transforma el 90 % de la glucosa contenida en el jugo en alcohol etílico y anhídrido carbónico. El resto se transforma en ácido láctico y por desviación de la fermentación láctica se produce: ácido acético (6.6 %), acetilmetil-carbonil, ácido fórmico e hidrógeno [5].

La temperatura a la cual se debe llevar a cabo el proceso de fermentación, puede variar entre 28 y 35 °C. Si la temperatura sale de este rango el proceso se hace más lento hasta llegar a unas temperaturas límite, donde se paraliza la fermentación por el exceso o falta de calor [5]. Anteriormente en épocas de invierno el proceso de fermentación podía llevar hasta 15 días.

La levadura debe mantenerse a un nivel de 3 °Brix, agregándole jugo que se obtiene del escurrimiento del horno durante la cocción, de esta forma, la levadura no muere por falta de azúcares y tampoco se inhibe por el exceso de alcohol. La proporción

de levadura que se agrega a un tanque es del 10% y para que las levaduras tengan un mejor rendimiento se les debe agregar alguna sal para elevar el pH [5].

Aproximadamente un nivel de 14 °G.L. en el mosto, impide la actividad de transformación de las bacterias y las elimina [12]. Esto sucede entre 10 y 11 horas después de haberse iniciado el proceso.

Las levaduras que fermentan el azúcar y lo transforman en alcohol etílico y dióxido de carbono son las levaduras llamadas *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces ellipsoideus* [21]. Los fermentos alcohólicos son hongos ascomicetos y producen enzimas que son los catalizadores de los sustratos contenidos en el jugo. Se encontraron dos tipos de enzimas [5]:

- Las exozimas que actúan fuera de la célula, desdoblando las proteínas y almidones para que puedan ser absorbidos por la membrana celular.
- Las endozimas tienen las mismas funciones pero las realizan desde el interior de la célula, dividiendo aún más las sustancias absorbidas por la célula. La endozima al desdoblarse los sustratos desde el interior de la membrana celular dan temperatura a la célula lo que es útil y necesario para la misma.

Las enzimas de las células que producen la fermentación pueden ser afectadas por los siguientes agentes [5]:

- Los rayos ultravioleta.
- El pH de la solución.
- La concentración de azúcar del jugo.
- La temperatura.

Después de combinar todos los elementos necesarios para iniciar la fermentación como son: jugo, agua, levadura y sales nutrientes, a la mezcla se le llama "mosto vivo" debido a que parece estar en ebullición. Cuando la actividad bacteriológica ha terminado y teóricamente el azúcar se ha agotado entonces al jugo se le llama "mosto muerto".

A los hongos también se les llama microorganismos gemantes puesto que se reproducen por gemación. Cuando los fermentos entran en contacto con el mosto donde hay gran cantidad de azúcar, la reproducción se realiza rápidamente por gemación. La pared celular forma una pequeña saliente redondeada que crece hasta formar una vejiga. Entonces en el sitio de contacto con la célula madre se disuelve la membrana celular y la vejiga se convierte en una célula hija, que a su vez se llena de protoplasma y crece hasta alcanzar el tamaño de la célula madre y comienza a formar por su parte una vejiga en su pared celular [5].

La reproducción por gemación se hace mientras haya abundancia de alimento, pero cuando las condiciones de alimentación se vuelven más difíciles entonces los fermentos comienzan a reproducirse por esporas. La reproducción por esporas permite a los fermentos resistir los efectos de una elevada temperatura, de falta de alimentación y de diversos efectos destructores [5].

Durante la reproducción de los microorganismos de la levadura es conveniente el contacto con el aire. Con abundancia de oxígeno la levadura respira y consume una gran cantidad de azúcar, obteniendo así energía para reproducirse. El azúcar que ha consumido la levadura para respirar y como alimento no se transforma en alcohol, pero sirve para la reproducción de más microorganismos sobre todo al inicio de la fermentación. El objetivo es que la levadura contenga el mayor número de microorganismos para que transformen más azúcar en alcohol [5].

A medida que la fermentación avanza, el oxígeno, la glucosa y las materias nitrogenadas se van gastando y la proporción de alcohol y anhídrido carbónico van aumentando, hasta que las condiciones se hacen insoportables para que la levadura se siga reproduciendo por gemación y entonces se reproduce por esporas. Las células ahora son más resistentes pero llega el momento que la proporción de alcohol paraliza la fermentación [5].

A lo largo de la fermentación se llevan a cabo dos procesos: En el primero que se realiza al agregar la levadura es necesario que las bacterias se reproduzcan rápidamente para alcanzar la cantidad de microorganismos necesarios para el volumen de jugo. Este paso es conveniente que se haga de manera aeróbica (con admisión de aire). En la segunda etapa, una vez que hay las bacterias suficientes para consumir el azúcar contenido en el jugo, se busca que la levadura trabaje de la manera más eficiente transformando la mayor cantidad de azúcar en alcohol y es recomendable la ausencia de aire o que la fermentación sea de manera anaeróbica [5].

2.6 DESTILACIÓN

La destilación es la acción o efecto de estilar, proceso en el cual una sustancia se calienta sin aire, a fin de expulsar las materias volátiles que contiene sin que se inflame. La teoría de la destilación está basada en los siguientes principios [5]:

1. Se le llama vaporización al paso del estado líquido al gaseoso. Si la vaporización se produce en la superficie de un líquido a cualquier temperatura, se denomina evaporación. Si la vaporización se efectúa en el seno mismo del líquido y a una temperatura determinada, se denomina ebullición.
2. El paso inverso a la vaporización o sea, del estado gaseoso al líquido se le llama condensación o licuefacción.

La destilación es una operación de purificación de líquidos, consiste en pasar un líquido al estado de vapor y devolverlo de nuevo al estado líquido por condensación. De esta forma se separan todas las impurezas que no se volatilizan [5].

El mosto muerto que se obtiene de la fermentación es una mezcla de agua, alcohol materia orgánica y en algunos casos fibra. El objetivo de destilar el mosto muerto es extraerle el alcohol y elevar su proporción con respecto al agua, puesto que estos son los dos únicos elementos que se volatilizan. Cuando se habla de alcohol, no sólo se refiere al alcohol etílico sino a todos los alcoholes que contiene el mosto.

La diferencia de puntos de ebullición entre el alcohol y el agua es lo que beneficia que la proporción de alcohol se eleve. Teóricamente el agua tiene una temperatura de ebullición de 100 °C. y el alcohol de 78 °C. Lo anterior provoca que el alcohol se volatilice

FALTA

PAGINA

37

En algunas industrias mezcaleras de San Luis Potosí y Zacatecas utilizan una torre de rectificación en lugar de hacer la destilación fraccionada. La torre de rectificación realiza la concentración del mezcal hasta los niveles requeridos en un solo paso.

El alambique es similar, pero la salida superior del alambique está conectada a la base de la torre de rectificación (fig. 4.6). La torre consta de una base y unas esferas que contienen platos de cobre. El vapor que se recibe del alambique entra por la base de la torre y sube hacia las esferas. Los platos obligan al vapor a que recorran la superficie de las esferas para que haya más condensación de la sustancia menos volátil.

En el interior de la torre se produce una diferencia de temperaturas entre la base y la parte superior. La base de la torre puede subir de 100 °C. y las esferas son enfriadas con agua para que la temperatura de éstas no llegue a ese nivel. El objetivo es que en el interior la temperatura se encuentre entre 78 y 100 °C., para que el alcohol aún esté en estado gaseoso y continúe subiendo, mientras el agua se condensa y cae en forma de gotas hacia el fondo de la torre.

Las superficies de las esferas no son capaces de condensar toda el agua que va subiendo en forma de vapor, pero elevan bastante la concentración de alcohol en el destilado.

La torre de rectificación puede estar sumergida en un tanque de agua corriente o simplemente bañada con agua para asegurar la eficiente transferencia de calor.

El vapor con alto contenido de alcohol que sale por la parte superior de la torre, se pasa hacia un par de serpentines sumergidos en agua por donde sale el condensado.

Los alambiques pueden estar hechos de cobre o de acero inoxidable, aunque son preferibles los de acero inoxidable porque el cobre desprende partículas que dañan la calidad del licor.

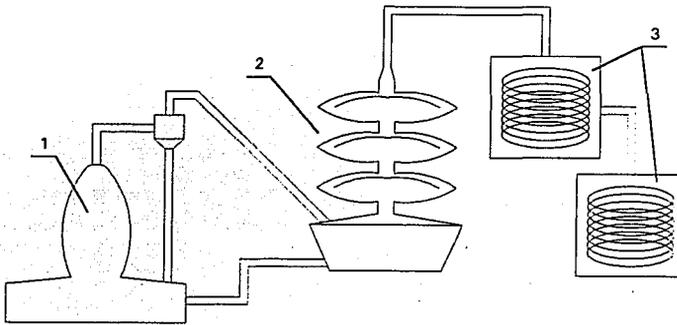


Fig. 4.6. Destilación con torre de rectificación.

1 - Alambique, 2 - Torre de destilación, 3 - Serpentes de condensación.

Anteriormente se utilizaban dos diferentes tipos de alambiques:

- El alambique español hecho de cobre, en el cual se colocaba el jugo dentro de un recipiente y se calentaba con fuego directamente. El recipiente tenía una tapa y la tapa un tubo por donde salían los vapores que se producían. El tubo se sumergía dentro de una canal para que los vapores se condensaran y al final del tubo se obtenía el mezcal a baja graduación. Entonces el destilado se colocaba de nuevo en el recipiente y se volvía a destilar para elevar el nivel alcohólico del destilado [1].

FALTA

PAGINA

40

3. EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS EN GENERAL

La extracción es un proceso que se utiliza para realizar la separación de los líquidos de los sólidos. En la industria alimenticia se busca obtener, por medio de la extracción o el prensado: el jugo de frutas, tallos, tubérculos; aceites de semillas y frutos oleaginosos; grasas de animales y la deshidratación de desperdicios.

En algunas de las aplicaciones antes mencionadas, puede ser importante el líquido obtenido, o la fracción sólida o aún mejor cuando se aprovechan ambos productos de la extracción para una industrialización integral.

Como ejemplo de lo anterior podemos mencionar que el bagazo obtenido en la extracción del jugo de caña de azúcar, se utiliza como fuente de energía en las calderas de los ingenios o como materia prima para la industria del papel. Otro ejemplo pueden ser los residuos de carne de cerdo que se obtienen después de la extracción de la grasa y que se utilizan como harina de carne en la elaboración de productos balanceados como fuente de proteínas.

La aplicación de presión produce la liberación del líquido que ha quedado dentro de la célula y mientras más rotas se encuentren sus paredes, menor será la presión requerida para una buena extracción.

El material del cual se requiere extraer el líquido primero tiene que ser expuesto a un determinado proceso preliminar cuyo objetivo es la destrucción de las membranas de las células y la liberación del líquido. En el caso de frutas y vegetales se utiliza la trituración y también un proceso enzimático con ultrasonido o eléctrico [22]. Las semillas de las plantas de aceite son trituradas parcialmente y después son calentadas y saturadas

con agua. Este proceso tiene como objetivo la debilitación de las paredes de las células, la extracción del jugo por el agua y la coagulación de las proteínas.

El material preparado para la extracción presenta una sustancia semi-líquida pastosa o granulosa, la cual contiene partes sólidas, líquidas y burbujas de aire. El líquido fluye por los capilares entre las partes sólidas lo que produce adicionalmente la limpieza del líquido. El aumento de la presión sobre el material produce la liberación de nuevas porciones del líquido con la simultánea disminución de la porosidad. Debido a esto, el flujo del líquido entre las paredes sólidas se dificulta (fig. 5.1) y la cantidad de la fase líquida obtenida corresponde aproximadamente a la diferencia de volumen del material antes y después de la extracción [22].

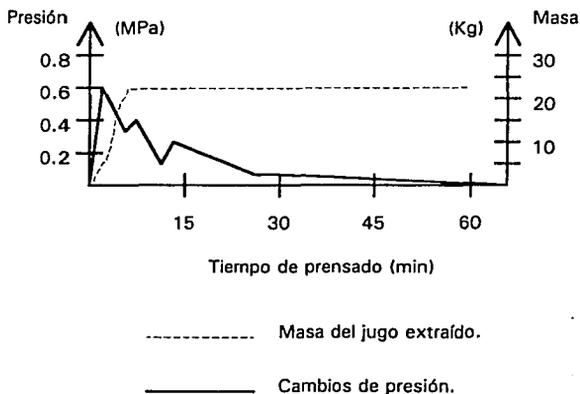


Fig. 5.1. Relación entre la cantidad de la parte líquida obtenida, el tiempo y la presión de la extracción.

La descripción anterior del proceso de la extracción muestra que ocurren por lo menos dos fenómenos durante este proceso. La compresión del material produce la liberación de la fase líquida, la cual para que salga del material tiene que fluir por los canales capilares. Con otras palabras la extracción es un proceso simultáneo de deformación del material y el flujo del líquido.

La elaboración de la teoría y la descripción matemática del proceso de la extracción enfrenta muchas dificultades, la principal es que las propiedades del material sujeto a la extracción no pueden ser determinadas con mucha exactitud y expresadas numéricamente. Además, cada material en combinación con el proceso preliminar da un producto con propiedades tan diferentes, que el desarrollo de una ecuación que describa el proceso de extracción se hace prácticamente imposible. En esta situación, el conocimiento del proceso de la extracción y los factores que deciden sobre él, es el resultado principalmente de las experiencias y observaciones industriales.

El grado de extracción a obtener y la capacidad del equipo que desarrolle este proceso, dependerá de los siguientes factores:

- Grado de preparación del material (eficiencia del proceso preliminar).
- Propiedades del material destinado para el prensado.
- Filtrabilidad o porosidad del material sujeto a la extracción.
- Viscosidad del líquido obtenido durante la extracción.
- Espesor del colchón del material a comprimir. En la capa existe cierta distribución de presiones y la presión máxima se produce en el centro de la capa. Por esta razón es recomendable utilizar capas delgadas, las cuales permitirán el rápido flujo y la separación del líquido extraído y disminuirán la influencia de la distribución de presiones sobre el proceso de prensado.

- Tiempo de residencia bajo presión o retención.
- Número de aplicaciones de presión.
- Facilidad del equipo para drenar rápidamente el líquido obtenido.
- Rangos de presión, presión máxima y rapidez de aplicación de presión.

Los equipos que realizan la extracción, generalmente se les conoce como "prensas" y existen muchos tipos dependiendo de la manera en que ejercen la presión. Dentro de las prensas encontramos las de trabajo cíclico y continuo, las que ejercen presión de forma neumática, hidráulica, mecánica y centrífugas. A continuación se describirán algunos tipos de prensas, mencionando en algunos casos, máquinas que se encuentran actualmente en el mercado.

4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y EQUIPOS

4.1 PRENSAS DE CAPAS MÚLTIPLES

Las prensas de capas múltiples son de trabajo cíclico y se utilizan para extraer el jugo de frutas y vegetales. Hay prensas verticales y horizontales que trabajan bajo el mismo principio de formar paquetes de material, dentro de bolsas filtro para ser presionadas por cilindros hidráulicos.

Las prensas horizontales están formadas por un bastidor con separadores sintéticos, dentro de los cuales, se colocan bolsas filtro de tela o polipropileno. Las bolsas se llenan con las frutas o vegetales a exprimir y se acciona el cilindro para comenzar a ejercer la presión sobre uno de los extremos del bastidor, mientras el otro es fijo, obligando a reducir el espacio entre los separadores (fig. 6.1). La presión y la velocidad de extracción pueden ser regulados, dependiendo de la materia prima y de su preparación. Una vez que el cilindro ha recorrido toda su carrera, reduciendo al máximo la distancia entre separadores y comprimiendo las bolsas que se encuentran entre éstos, el jugo es expulsado de las bolsas filtro y cae en la charola recolectora.

Entonces, el cilindro regresa a su posición original y el bastidor gira 180°, pivoteando sobre una de las esquinas superiores, con el objeto de voltear las bolsas hacia abajo (fig. 6.1). Cuando el bastidor se encuentra volteado, las bolsas tiran los sólidos fuera de la charola que recolecta el jugo por medio de la vibración del bastidor. Por último, el bastidor regresa a su posición original para iniciar el ciclo nuevamente.

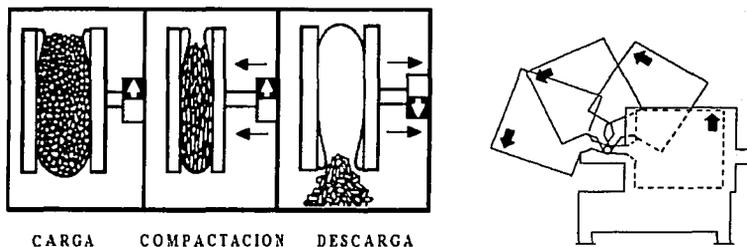


Fig. 6.1. Proceso de prensado. Vista frontal y lateral.

Como ejemplo de estas prensas podemos mencionar la prensa CP MOD 36 Pressing Module de la compañía Goodnature Products Inc. de USA (fig. 6.2), con una capacidad de 5.4 ton/hr. El rendimiento de jugo que se puede obtener es de 80%, el requerimiento de potencia es de 15 Hp, con presiones máximas de 1.36 MPa y un precio de \$ 225,000 USD. Cada ciclo de la máquina toma aprox. 20 min y tiene una capacidad de 1.8 ton por ciclo [23].

Dentro de las prensas horizontales encontramos otro modelo de la misma compañía Goodnature Products Inc., el modelo Squeezebox SX 360 Juice Extractor Press. Esta prensa tiene la característica de que mientras una mitad del bastidor está realizando la extracción, en la otra mitad se realiza la operación de carga y descarga, y así sucesivamente. Esta cualidad hace que el proceso sea casi continuo [23].

Las prensas verticales funcionan bajo el mismo principio. El material a comprimir se coloca en telas formando paquetes, los paquetes se colocan uno sobre otro formando una pila, teniendo cuidado de colocar un separador de madera o sintético entre cada paquete. Las pilas se forman de 10 a 20 paquetes sobre la mesa inferior de la prensa, que

es la parte que se desplazará hacia arriba realizando la compresión contra la placa superior fija. Las prensas verticales constan de dos o tres mesas inferiores, así mientras una está en la posición del pistón hidráulico realizando la compresión, en las otras se carga y descarga el material. Las mesas inferiores giran alrededor de un eje y habilitan a la prensa para poder tener un proceso cíclico más fluido y aumentar su capacidad.

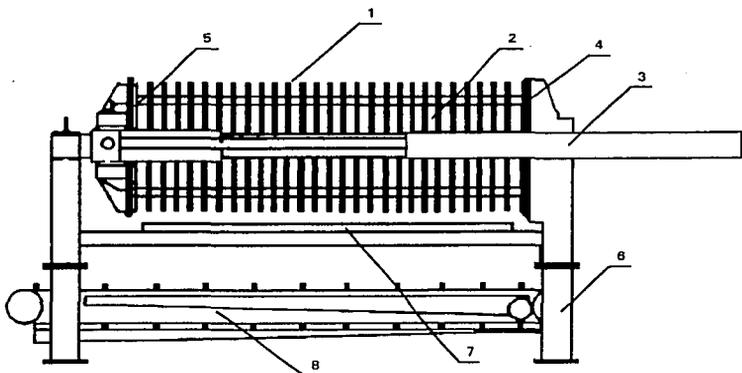


Fig. 6.2. Prensa de capas múltiples CP MOD 36 de la cía. Goodnature Products Inc.

1- Bastidor, 2- bolsas filtro, 3- pistón, 4- placa fija, 5- placa móvil, 6- estructura, 7- recolector de jugo, 8- transportador de residuos.

Dentro de las prensas verticales encontramos la POK-200 Spomasz (fig. 6.3), una prensa de tres mesas, con una capacidad de 3.3 ton/hr., presión nominal de 1.7 MPa y presión máxima de 2.5 MPa. Las prensas TPD2 y TPD4 de la empresa Bucher-Guyer de Suiza con capacidades respectivas de 2.5 y 1.2 ton/hr., obtienen una extracción de 80 a 82% [22].

El funcionamiento de estas máquinas requiere de mucho tiempo y trabajo manual, pero la extracción es alta y el nivel de sólidos obtenido en el jugo es mínimo, lo que elimina la necesidad de filtrar el líquido después de la extracción.

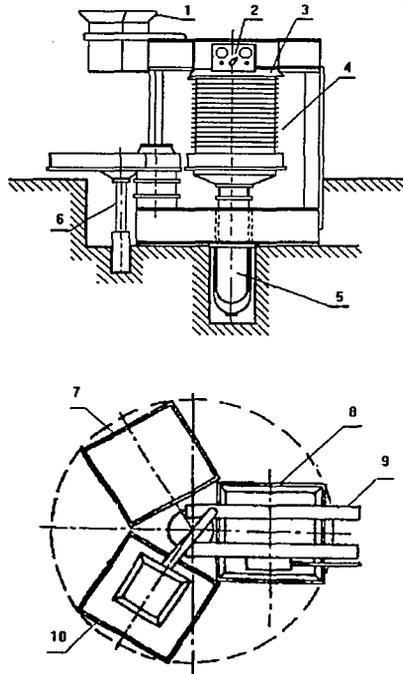


Fig. 6.3. Prensa de capas múltiples POK- 200 de la empresa SPOMASZ (Polonia).

Vista lateral y superior.

1- Tolva de entrada del material, 2- tabla de controles, 3- placa fija, 4- capas de material, 5- pistón, 6- elevador hidráulico, 7- mesa de descarga, 8- mesa cargada, 9- estructura, 10- mesa de alimentación.

4.2 PRENSAS DE CANASTA

Se utilizan sobre todo en la extracción de frutas como son: fresas, zarzamoras, uvas; también para peras y manzanas. El trabajo es cíclico en estas prensas y constan de un cilindro de lámina perforado y un pistón hidráulico (fig. 6.4). El pistón impulsa una placa redonda con el mismo diámetro interior del cilindro. El cilindro está colocado de tal forma que su eje se encuentra en posición horizontal y de igual forma el pistón, de manera que la placa circular recorre toda la longitud del cilindro. El cilindro tiene una puerta para realizar la carga y descarga, para lo cual la canasta gira alrededor de su eje longitudinal. Cuando el material ha sido cargado dentro de la canasta, se impulsa el pistón para que reduzca el espacio libre y el líquido fluya a través de los orificios del cilindro.

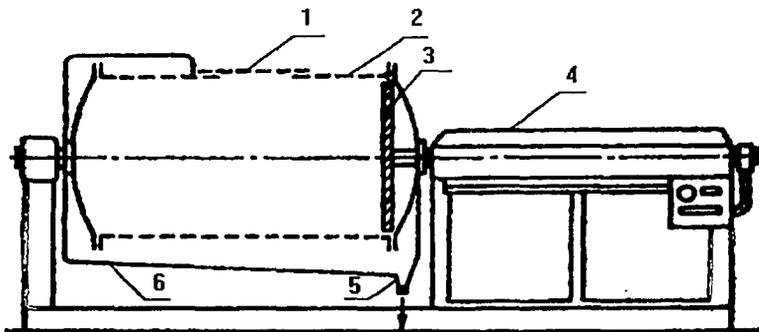


Fig. 6.4. Prensa tipo canasta para el prensado de uvas.

1- Cubierta para alimentación del material de carga y descarga de los desechos, 2- canasta perforada, 3- pistón, 4- propulsión del pistón y el sistema de mecanismo de giro, 5- salida del jugo, 6- estructura.

La extracción se realiza en varias etapas, donde, en cada una de ellas se va aumentando la presión gradualmente. Cada vez que el cilindro va hacia atrás, para luego, ejercer otra aplicación con mayor presión, se produce un esponjamiento del material gracias al giro de la canasta.

Después de que se han llevado a cabo las etapas de presión necesarias, la canasta gira hasta quedar con la puerta hacia abajo y poder descargar el material de residuo, por lo que el trabajo de estas máquinas puede ser semi-mecanizado.

Hay prensas de este tipo, que en lugar de tener perforaciones, la canasta consta de un sistema de drenaje que le permite al líquido desalojar la zona de presión (fig. 6.5). Las presiones máximas que manejan este tipo de prensas llegan hasta 1.5 MPa con un grado de extracción bastante satisfactorio del 80 a 82% [22].

Las prensas de canasta de la empresa Bucher-Guyer manejan desde 850 hasta 12,000 Kg/hr (tabla 6.1) de uvas y como se había mencionado antes, tienen modelos con canastas perforadas o con mangueras de malla de nylon para drenar el líquido obtenido por la prensa [24].

Tabla 6.1 Capacidad de las prensas tipo canasta HP de la empresa Bucher-Guyer (Suiza).

TIPO DE FRUTA	HP 1600	HP 2500	HP 3000	HP 5000
Manzanas	2000	2000-3000	3500	6000
Peras	3500	4000-5000	7000	12000
Black Berry	2000	2000-3000	3500	6000

Capacidad en (Kg/hr)

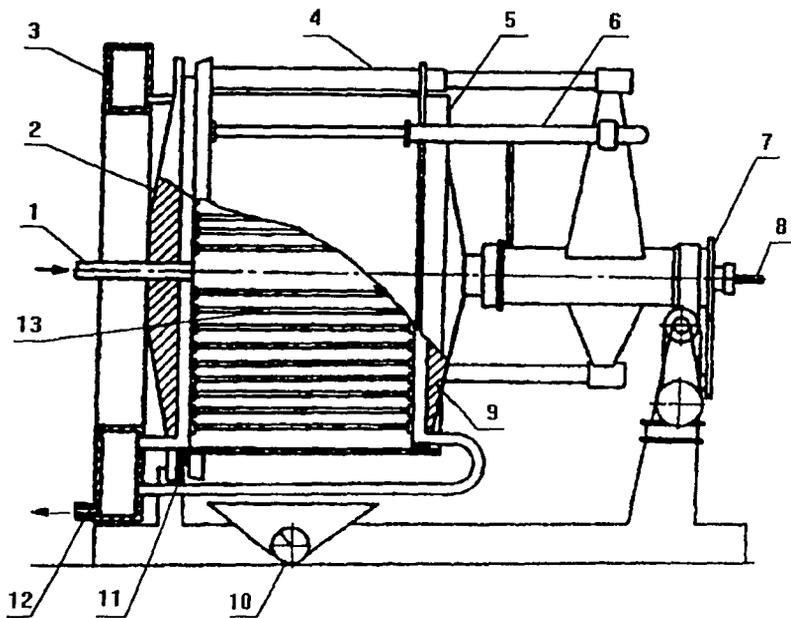


Fig. 6.5. Prensa tipo canasta HP de la empresa Bucher- Guyer (Suiza).

1- Alimentación del material, 2- placa fija, 3- colector de jugo, 4- estructura, 5- canasta, 6- sistema que produce el movimiento alrededor del eje longitudinal de la canasta, 7- transmisión, 8- suministro de aceite, 9- pistón, 10- transportador tipo gusano para los desechos, 11- empaque, 12- salida del jugo, 13- mangueras de drenaje.

4.3 PRENSAS NEUMÁTICAS

Estas prensas ejercen muy poca presión por lo que son utilizadas para prensados muy ligeros. De igual forma que las anteriores, su trabajo es de forma cíclica y se usan para la extracción de jugo de uva, fresas, zarzamora, etc.

La prensa es un cilindro de acero perforado, que contiene un elemento de hule de forma cilíndrica en el interior. El cilindro de acero o criba tiene en la periferia una puerta por donde se suministra la materia prima a exprimir, y tiene la capacidad de girar sobre su eje longitudinal para distribuir uniformemente la carga del material entre el cilindro de hule y la criba. Al llenarse el espacio entre ambos cilindros, la criba deja de girar y se comienza a suministrar aire comprimido al cilindro de hule. El proceso de prensado se realiza en varias etapas, incrementando de manera progresiva la presión del aire hasta llegar a unas presiones máximas de 0.6 MPa [22]. Cuando se ha liberado el aire de la última etapa de presión, la criba gira 180° para que la puerta quede en la parte inferior y se pueda descargar el material de residuo.

La humedad residual que se obtiene con estas prensas se encuentra entre 56 y 57%, para el tipo de frutas que se mencionaron antes. A continuación se mencionaran ejemplos de este tipo de prensas: Prensa Neumática GPPD-1.7 (URSS) (fig. 6.6), con una capacidad de 1.7 ton/hr, aplica presión en tres ocasiones: 0.2, 0.4 y 0.6 MPa [22]. El proceso tarda alrededor de 2 hr. en la extracción de jugo de uva. La criba gira a 20 r.p.m. durante la carga y descarga de material. Otra prensa de este tipo es la Roto-Pressmatic de la compañía Bucher-Guyer (Suiza) que llega a una presión máxima de 0.2 MPa [22]. El cilindro exterior está hecho de lámina maciza y en el interior tiene un sistema para drenar el jugo que se obtiene.

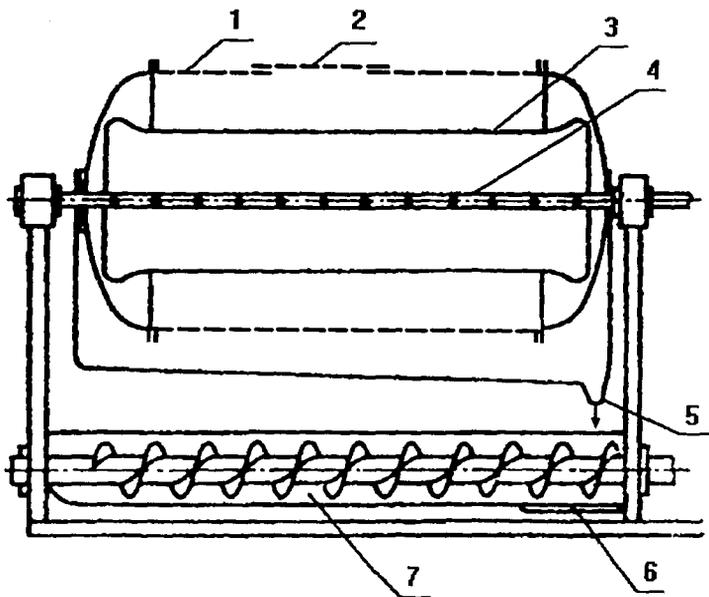


Fig. 6.6. Prensa neumática GPPD-1.7 (URSS).

1- Recipiente de lámina perforada, 2- cubierta para la alimentación y descarga, 3- cilindro de hule, 4- entrada de aire comprimido, 5- salida del jugo, 6- salida de los desechos, 7- transportador de gusano.

4.4 PRENSAS DE DISCOS

Este tipo de prensas se usan para materiales triturados de una considerable resistencia mecánica y alta porosidad, obteniendo buenos resultados en la extracción del líquido de la cebada durante la elaboración de cerveza y de café triturado.

La prensa de la compañía Davenport (USA) modelo 1B, procesa hasta 10 ton/hr con un motor de 10 Hp (fig. 6.7). Y las prensas de discos de la empresa Rietz-Vincent (USA) han sido diseñadas para manejar hasta 5 ton/hr. de material seco (fig. 6.8) [25].

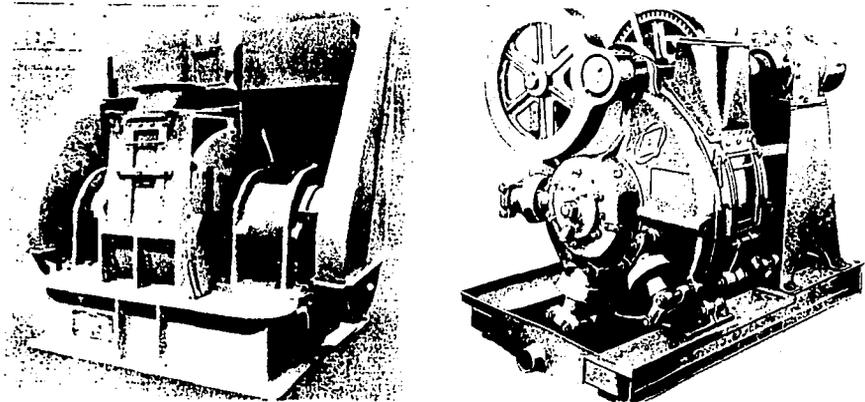


Fig. 6.7. Prensas modelo 1BD y modelo A de la empresa Davenport Machine.

La prensa está hecha de dos discos dispuestos en forma de "V" con platos perforados en su superficie. El material entra a la prensa a través de la tolva de alimentación que se encuentra hacia un lado en la parte superior, donde los discos se encuentran más abiertos. Conforme los discos van rotando, las caras se comienzan a juntar y el material se ve obligado a pasar por la zona inferior que es la más estrecha y donde se ejerce la presión máxima. Así, el material sigue desplazándose hasta comenzar a subir y llegar a la zona de descarga que se encuentra en la parte superior, del lado opuesto a la alimentación. La materia residual de las prensas va desalojando los discos gracias a un transportador de tornillo. Debido a la acción de los platos cribas, el material expulsa el líquido hacia adentro de los discos, donde después es recolectado.

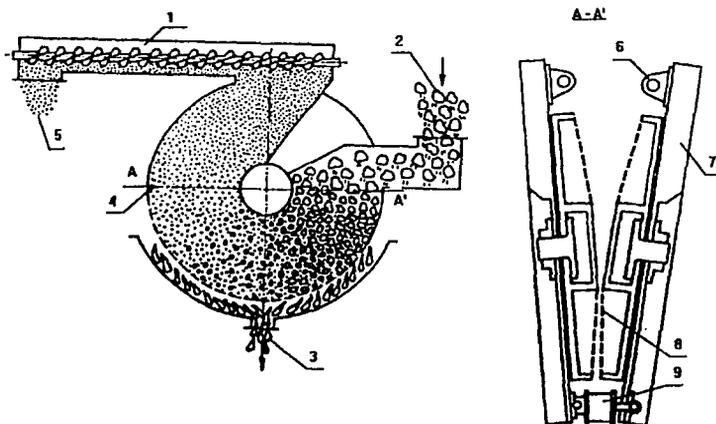


Fig. 6.8. Prensa de discos.

- 1- Transportador de gusano, 2- alimentación del material, 3- recolección del líquido, 4- lugar de presión máxima, 5- descarga del bagazo, 6- lugar de conexión, 7- disco, 8- criba, 9- ajuste hidráulico de la presión de la prensa.

4.5 PRENSAS DE BANDAS

Las prensas de bandas no han encontrado amplia aplicación debido a que son muy grandes y costosas, además el grado de extracción que se obtiene no es muy satisfactorio, dentro de la industria de alimentos. Trabajando con manzanas, el grado de extracción se encuentra entre 70 - 76% y para fresas entre 76 y 88% [22]. Pero en la actualidad, han tenido auge en la separación de sólidos de aguas y lodos residuales.

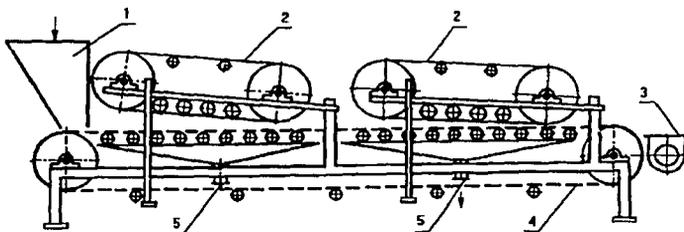


Fig. 6.9. Prensa de bandas.

1- Alimentación del material preparado, 2- bandas superiores macizas, 3- salida del material procesado, 4- banda perforada, 5- recepción del jugo, 6- ajuste de la distancia entre las bandas.

El proceso en estas máquinas se realiza de forma continua; las prensas tienen bandas que transportan el material por entre los rodillos y la presión de los rodillos y la separación entre las bandas puede ser controlada. Hay muchos arreglos de este tipo de prensas, las bandas pueden ser metálicas o de una tela sintética. El material puede ser presionado entre ambas bandas soportadas por rodillos o entre una banda y directamente

contra un rodillo. Se encuentran también prensas con más de dos bandas colocadas en serie haciendo etapas de presión sobre el material (fig. 6.9).

Dentro de las características generales, podemos decir que todas transportan el material hacia donde las bandas se estrechan para ejercer la presión al disminuir el volumen. Al final de las prensas, es común que se encuentren raspadores para separar el material residual de las bandas y aspersores de agua sobre las bandas, con el fin de limpiar los restos sólidos que aún permanecen éstas y no se tapen los conductos por donde fluye el líquido extraído. Otro elemento que siempre se encuentra, es un rodillo tensor para mantener la tensión constante sobre la banda.

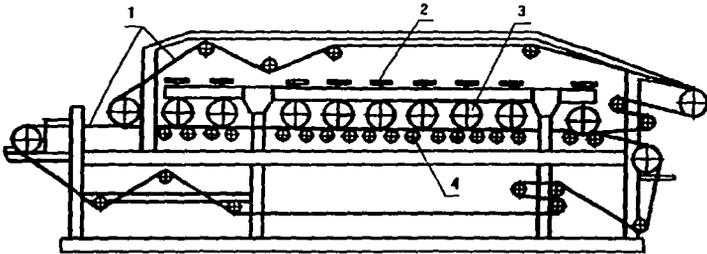


Fig. 6.10. Prensa de banda con rodillos de la empresa Ensink (Holanda).

1- Bandas, 2- ajuste de presión, 3- rodillo superior, 4- rodillos inferiores.

Refiriéndose acerca de la forma de ejercer la presión, encontramos las prensas que tienen rodillos de diámetro considerablemente grande, moviendo las bandas, y entre ellos se pueden observar rodillos pequeños que dan rigidez a la banda. En este tipo de prensas, generalmente a un rodillo pequeño de la banda superior, le corresponde otro pequeño en

la banda inferior de manera alineada (fig. 6.9). Pero también vemos otro arreglo, donde a dos rodillos pequeños de la banda inferior le corresponde un rodillo mediano en la banda superior, haciendo el arreglo de un trapiche (fig. 6.10). En este tipo de máquinas, el ajuste entre cada juego de rodillos se encarga de incrementar la presión.

En la fig. 6.11 vemos una prensa de bandas que aplica la presión entre la banda y el rodillo directamente. El material cae sobre una banda al entrar y pasa por una zona de prensado preliminar entre rodillos pequeños, donde se encuentran unas salientes que producen el esponjamiento del material. Un raspador al final de la primer banda lleva al material a la segunda banda de alta presión, donde el rodillo es de diámetro mayor y está soportado por varios rodillos pequeños entre los cuales pasa la banda. El rodillo mayor es ajustable para poder aumentar o disminuir la presión durante el proceso. La segunda banda tiene perforaciones más pequeñas que la primer banda para realizar un mejor filtrado.

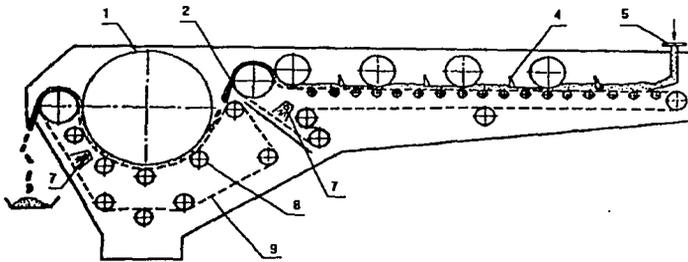


Fig. 6.11. Prensa de banda con rodillos SGS de la empresa Guinard (Francia).

- 1- Tambor, 2- raspador, 3- rodillos del prensado preliminar, 4- salientes mezcladores,
- 5- alimentación del material prensado, 6- banda perforada de la extracción preliminar,
- 7- espreas, 8- rodillos de presión, 9- banda perforada del prensado final.

Hay otros arreglos donde las bandas recorren 180° aprox., de la periferia de un rodillo de diámetro considerable (fig. 6.12). Esto significa que no hay otro rodillo que soporte al anterior y la presión se ejerce sólo por la tensión en ambas bandas al recorrer la periferia del rodillo. En estas máquinas los rodillos son perforados para tener flujo de líquido en dirección radial hacia adentro del cilindro. El diámetro de los cilindros se va reduciendo de forma gradual conforme se aproxima la banda a la salida. Las bandas que utilizan son de tela sintética [26, 27].

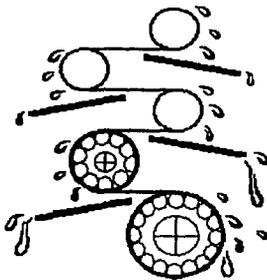


Fig. 6.12. La tensión en las bandas al pasar por los rodillos produce la extracción.

Las compañías Klein de Alemania (fig. 6.13) y Klampress USA que fabrican prensas de bandas como las que fueron descritas, coinciden que la fibra del maguey puede ser demasiado dura y romper las telas que transportan el material. El costo aproximado de este tipo de prensas, es de \$ 600,000 USD.

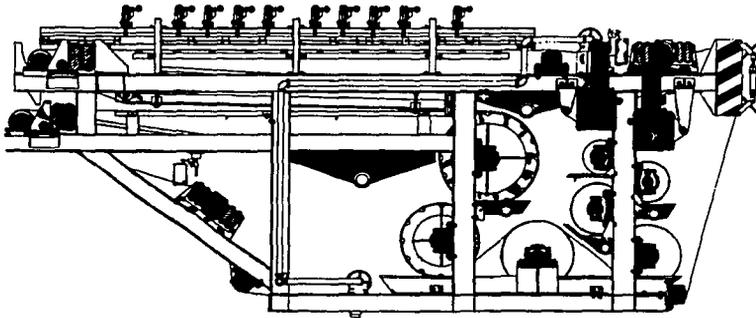


Fig. 6.13. Prensa de bandas de la compañía Klein (Alemania).

4.6 EXTRACTORES CENTRÍFUGOS

Los extractores centrífugos son utilizados para deshidratar vegetales como: lechuga, cebolla, col, etc., también se utilizan para separar aceites y grasas de productos de carne, semillas, nueces, etc. Los extractores centrífugos constan de una canasta perforada donde se carga el material, dicha canasta se coloca dentro de un cilindro metálico y sobre el eje que hará girar la canasta hasta 1,700 r.p.m. [28]

Una vez que la canasta ha sido colocada dentro del cilindro y se ha fijado sobre el extremo de la flecha, se liberan los soportes del mecanismo que levanta la canasta, el material se coloca dentro de la canasta perforada, se cierra la tapa del cilindro exterior que recoge el jugo extraído y se comienza el proceso arrancando el motor que impulsa la flecha y a su vez la canasta que contiene el material (fig. 6.15).

La fuerza centrífuga obliga a la parte líquida a fluir por los orificios hacia afuera de la canasta donde se recolecta por el cilindro y fluye hacia la parte baja del mismo. La operación de los extractores es cíclica por lo cual al término del ciclo se detiene la canasta y se abre la tapa para colocar el mecanismo de levante, que permite sacar la canasta con el material deshidratado para vaciarla y comenzar un nuevo ciclo (fig. 6.15).

Los extractores de la compañía Bock (USA) pueden ser programados para que la canasta gire por un tiempo determinado dependiendo del material que se procese. Cuando se detiene el motor, los extractores tienen sistemas de frenos de aire para que la canasta se detenga rápidamente y acortar el tiempo del ciclo.

Como ya se mencionó antes, la operación de los extractores es cíclica y requiere de una persona que realice las operaciones de carga y descarga semi-mecanizada, además del

arranque de la máquina. Los problemas que se observan en este método de separación de líquidos y sólidos es la necesidad de la mano de obra que desempeñe las actividades antes mencionadas y la baja capacidad que ofrecen los equipos comerciales.

Como ejemplo podemos mencionar la máquina FP-900 (fig. 6.14) de la empresa Bock (USA) que tiene una capacidad de 65 kg. por ciclo y gira a 1,200 r.p.m., dentro de un rango de tiempo durante el proceso de extracción de hasta 10 minutos, impulsado por un motor hidrostático de 5 Hp [28]. La máquina más grande tiene una capacidad de 900 kg., por hora, un rango que se muestra muy limitado. Los motores hidrostáticos permiten una variación infinita en la velocidad de giro de la canasta y la transmisión de bandas utilizada en los extractores permite que se hagan paros y arranques rápidamente.

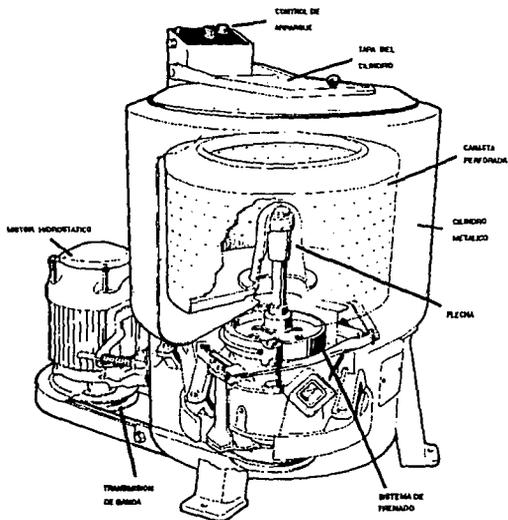


Fig. 6.14. Extractor centrífugo de la Cía. Bock (USA).

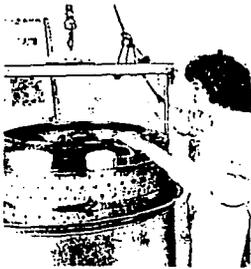


Fig. 6.15. Proceso de extracción en la centrifuga.

4.7 MOLINOS DE RODILLOS

Este tipo de prensa o molino es ampliamente utilizado en la extracción del jugo de caña en los ingenios donde se produce el azúcar. El principio de funcionamiento de estos molinos es pasar el material a comprimir entre rodillos, donde la presión ejercida sobre el material depende del espacio entre los rodillos.

Existen molinos con rodillos lisos o ranurados, las ranuras en los rodillos o mazas del molino ayudan a mejorar el grado de extracción y aumentan la capacidad de los molinos [29]. Los molinos pueden formarse de dos o tres mazas como se muestra en la fig. 6.16.

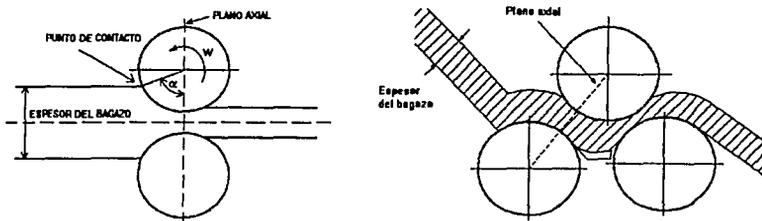


Fig. 6.16. Arreglos de las mazas de los molinos.

Por lo general los molinos más utilizados en la industria cañera constan de tres mazas: rodillo superior, rodillo cañero y rodillo bagacero. Para lograr que el material pase del rodillo cañero o alimentador al rodillo bagacero se coloca una cuchilla central entre ambos rodillos como se puede ver en la fig. 6.16. Todos los elementos se soportan en dos placas laterales conocidas como "vírgenes" [29].

Anteriormente la distancia entre los rodillos del molino era constante y la presión aplicada se determinaba por el ancho del colchón. Los resultados eran deficientes y el mayor inconveniente era cuando algún objeto extraño pasaba entre los rodillo, pues vencia las vírgenes del molino. Después el rodillo superior se hizo móvil, deslizándose de arriba hacia abajo y la presión estaba controlada por medio de resortes [29].

Del sistema de presión por medio de resortes se pasó a la presión hidráulica, que presenta la ventaja de mantener sobre el cilindro una presión constante e independiente de su levantamiento. Los cojinetes del rodillo superior se mueven dentro de la virgen y reciben la presión por medio de un pistón hidráulico. La presión hidráulica llega al pistón por una tubería de aceite a presión la que se obtiene de un acumulador. El acumulador está constituido por un cilindro largo dentro del cual se desplaza un émbolo que recibe el peso de un cierto número de placas superpuestas [29].

Existen también los acumuladores óleo-neumáticos que constan de una botella de depósito de lámina soldada conectada a un depósito general de aire comprimido que sirve a los acumuladores de diversos molinos. Un moto-compresor asegura la presión del aire comprimido y dentro de la botella se encuentra un pistón de gran diámetro que recibe la presión del aire comprimido sobre su cara superior y la transmite a un pistón de pequeño diámetro que la ejerce directamente sobre la tubería de aceite [29].

La capacidad de los molinos de tres mazas depende de diversos factores y como los más importantes se tienen los siguientes [29]:

- a. Contenido de fibra en la caña.- La resistencia del material a la acción de los rodillos depende de manera proporcional al contenido de fibra en caña.

- b. Dimensiones y velocidad de los rodillos.- La cantidad de bagazo que pasa entre los rodillos depende del grueso del colchón y la velocidad de giro de los rodillos.
- c. Número de rodillos.- La cantidad de rodillos que forman un tren de molinos permite abrir o cerrar la abertura de los rodillos iniciales para alcanzar un cierto grado de extracción final.
- d. Preparación de la caña.- El grado de preparación representa la cantidad de células rotas antes de pasar por los molinos; esto ayuda a la capacidad de los molinos puesto que es más fácil obtener el jugo que ya ha sido liberado de las membranas.
- e. Imbibición.- Cuanto mayor es la imbibición que se aplica, es más difícil alimentar los molinos, especialmente si se emplea agua caliente.
- f. Ranurado.- El grano del metal y la forma y profundidad de las ranuras facilitan la toma de la caña por los cilindros.
- g. Presión hidráulica.- Los molinos se alimentan más fácilmente con cargas ligeras.
- h. Alimentadores forzados.- Los cilindros alimentadores y los alimentadores alternativos permiten aumentar el tonelaje, algunas veces de manera substancial.

Para el buen funcionamiento de los molinos es muy importante el ajuste de los rodillos, lo cual consiste en determinar las posiciones relativas más favorables que deben darse a los 3 cilindros y la cuchilla central con el fin de obtener las mejores condiciones para la alimentación y los mejores resultados en la extracción. Los molinos permiten variar la posición en reposo de cada uno de los dos rodillos inferiores con relación al rodillo superior [29].

En la industria tequilera se han copiado los métodos de extracción que se utilizan en los ingenios para obtener el jugo de la caña de azúcar. Los resultados obtenidos, en cuanto al grado de obtención de azúcares del maguey, son satisfactorios, pero la inversión que se requiere para adquirir estos equipos y el costo de mantenimiento son de considerarse.

Como ya se mencionó antes, los parámetros que influyen en el buen funcionamiento de los molinos son muchos y muy variados. Para la industria de la caña de azúcar se ha desarrollado toda una tecnología que permite manejar los trenes de molinos con el mejor rendimiento, pero debido a la diferencia que hay entre la caña y el maguey cocido todos estos conocimientos no pueden ser aplicados directamente. Algunas compañías tequileras han adquirido trenes de molinos con un costo muy elevado y con altos gastos de mantenimiento, sin obtener resultados satisfactorios, teniendo que recircular el bagazo obtenido de forma manual. Otras compañías en base a la experiencia de la competencia han adquirido trenes cada vez más grandes y lógicamente con un costo mayor. Algunas otras empresas van copiando todos los instrumentos que se utilizan en los ingenios durante el proceso de extracción, hasta tener el mismo equipo a tamaño escala. Los volúmenes de maguey que se procesan en una fábrica de tequila son incomparablemente menores a los volúmenes de caña que procesa un ingenio, de lo cual también surgen parámetros diferentes de trabajo del equipo.

En conclusión los trenes de molinos dan buenos resultados requiriendo de una inversión muy elevada y altos costos de mantenimiento. Por lo regular se ha visto que el tamaño de los molinos diseñados a escala para la industria tequilera es estándar y tienen una capacidad muy grande en comparación con los volúmenes de material que se procesa. El tamaño de los molinos que se han visto en la mayoría de las tequileras es: rodillos de 20" de diámetro por 25" de longitud; con estriado grueso de 1" x 27/32" y ang. de 55° o

estriado fino de 1/2" x 23/64" y ang. de 55°; con una velocidad de giro de los rodillos cercana a 6 r.p.m., y una transmisión con reductor de velocidad y catarinas. La capacidad de este tipo de molinos es de 13 ton/hr., lo que significa producir 2,500 litros de tequila por hora.

IMBIBICIÓN

Un aspecto importante para obtener buenos resultados durante la extracción del jugo de caña es la imbibición, como se había mencionado antes. La imbibición es agregar agua durante el paso del bagazo de un molino al siguiente con la finalidad de diluir el azúcar que contiene y facilitar su extracción, pues el objetivo principal de los molinos no es dejar lo más seco posible el bagazo, sino extraerle la máxima cantidad de azúcares. El mismo objetivo se tiene al exprimir el maguey.

El llevar el bagazo a una humedad por debajo de 45 o 40% es muy difícil, y el hacerlo representa un excesivo desgaste y consumo de energía. Al agregar agua al bagazo se busca diluir el azúcar que contiene para después llevar de nuevo al bagazo a la humedad límite, pero ahora dicha humedad no estará constituida de jugo puro, sino que una parte será agua.

Los primeros molinos realizan grandes extracciones y rápidamente va siendo más difícil extraer algún porcentaje de humedad [29]:

	Humedad extraída	Humedad del bagazo
1er molino	40%	60%
2do molino	10%	50%
3er molino	5%	45%
etc...	menos de 5%	así hasta 40%

Generalmente se busca que la imbibición se realice desde el último molino hacia adelante, debido a que los últimos molinos se encuentran menos húmedos y es más difícil extraerles el azúcar residual.

Existen varios métodos de llevar a cabo la imbibición:

a) **IMBIBICIÓN SIMPLE.**- Agregar agua en algún punto entre los molinos (fig. 6.17).

- Imbibición simple única.- Se agrega agua entre el penúltimo molino y el último.
- Imbibición simple doble.- Se agrega agua en dos puntos: entre el antepenúltimo y penúltimo molino y entre el penúltimo y último molino.
- Así consecutivamente se les llama imbibición simple triple, cuádruple, etc.

IMBIBICION SIMPLE

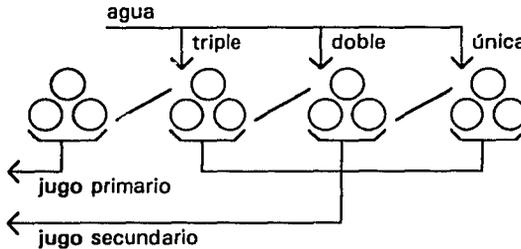


Fig. 6.17. Imbibición Simple.

Por lo regular, la cantidad de agua que se agrega en la imbibición simple es siempre la misma antes de cada molino, pero para obtener un mejor rendimiento de la imbibición simple, se recomienda agregar más agua en el último molino e ir disminuyendo

la cantidad progresivamente, hacia los molinos iniciales. Está comprobado, que agregando más agua en los molinos finales, hay una mejor extracción de azúcares para una cantidad de agua constante, en comparación de repartir la cantidad de agua en partes iguales en todos los molinos.

La imbibición tiene como una desventaja que agrega mucha agua y el jugo se diluye demasiado. La excesiva dilución afecta debido a que en las siguientes etapas del proceso es necesaria mucha energía para evaporar el agua extra que contiene el jugo.

b) **IMBIBICIÓN COMPUESTA.**- En este método se agrega agua antes del último molino. El jugo (casi agua) que se obtiene de la extracción del último molino, se agrega antes del penúltimo. El jugo obtenido del penúltimo molino, se agrega antes del antepenúltimo y así sucesivamente. De igual manera que en la imbibición simple se le llama imbibición compuesta doble, triple, etc. dependiendo del número de molinos que estén involucrados en el proceso de imbibición (fig. 6.18).

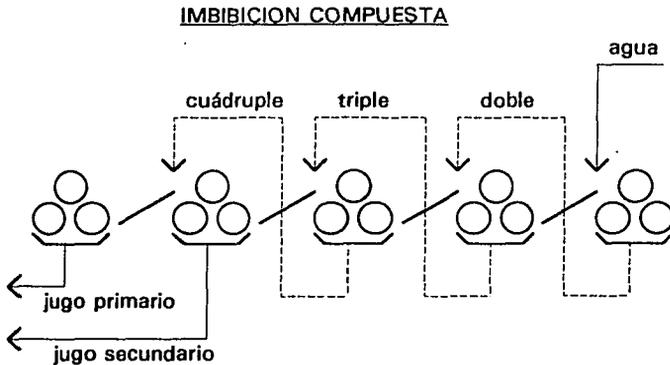


Fig. 6.18. Imbibición Compuesta.

En la práctica, la imbibición comienza antes que el bagazo llegue a la fibra límite (grado mínimo de humedad), sin embargo, la extracción final no es superior si se lleva el bagazo hasta el límite en seco y luego se realiza la imbibición.

Uno de los principales problemas para que la imbibición sea eficiente, es que en el centro de la capa del material exprimido quedan las células enteras que retienen los azúcares residuales. Al agregar el agua o jugo de imbibición las capas exteriores más secas, absorben la mayor cantidad del jugo que se está agregando. Así, el agua de imbibición no alcanza las fibras del centro, que son las que más necesitan la dilución del azúcar que contienen. La capacidad de absorción del bagazo de las capas exteriores es de 5 a 10 veces su peso [29]. El bagazo entre los molinos contiene de 1 a 2 veces su peso en agua, así que, nunca llega a saturarse el bagazo con el agua y por lo tanto, el jugo que se obtiene en el molino después de la imbibición, es en gran parte el líquido de imbibición que se acaba de agregar.

Para obtener una eficiencia ligeramente superior el agua no debe agregarse pulverizada, sino con chorros a presión, con el objeto de que el líquido de imbibición penetre lo más posible por entre las fibras, para alcanzar las capas centrales e impedir que las capas exteriores absorban la mayor parte del agua de imbibición.

A continuación se hará mención de un factor que relaciona la cantidad de agua que debe agregarse en la imbibición con respecto a la cantidad de caña que se está manejando.

Llamaremos λ al factor de relación entre el peso del agua de imbibición y el peso de la fibra contenida en la caña [29].

$$\lambda = \frac{W}{F} = \frac{\text{Cantidad de agua por unidad de peso de caña}}{\text{Fibra contenida por unidad de caña}}$$

Para entender un poco más lo que representa este factor prácticamente diremos que:

Un factor $\lambda = 2$ equivale a agregar 200% de agua del contenido de fibra de la caña. De otra forma, si la fibra representa 15% de la caña, se debe agregar 30% del peso de la caña en agua.

Como se muestra en la siguiente gráfica de λ con respecto a la extracción (fig. 6.19), entre los valores de 0, 1 y 2 hay un aumento grande en la extracción, entre 2 y 3 es poca la ayuda y arriba de 3 ya no hay ningún beneficio extra.

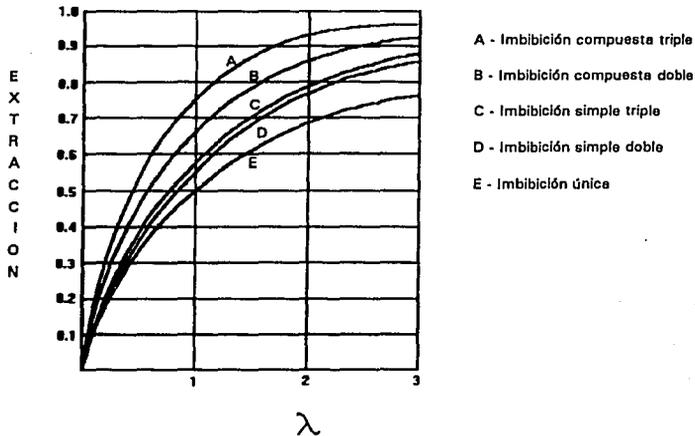


Fig. 6.19. Variación de la extracción residual en función de la imbibición (λ).

La eficiencia del método de imbibición compuesta es mayor que la de imbibición simple, cuando se maneja la misma cantidad de agua ($\lambda = \text{cte}$). Pero esto implica mayor movimiento de líquidos, por ejemplo (fig. 6.20):

En caso de manejar un factor $\lambda = 2$, para 100 ton. de caña, con un porcentaje de fibra de 15%. La cantidad de agua que se va a agregar será:

$$W = \lambda \times F \quad \Rightarrow \quad W = 2 \times 15\% = 30\% \text{ del peso de la caña.}$$

$W = 30 \text{ ton. de agua de imbibición.}$

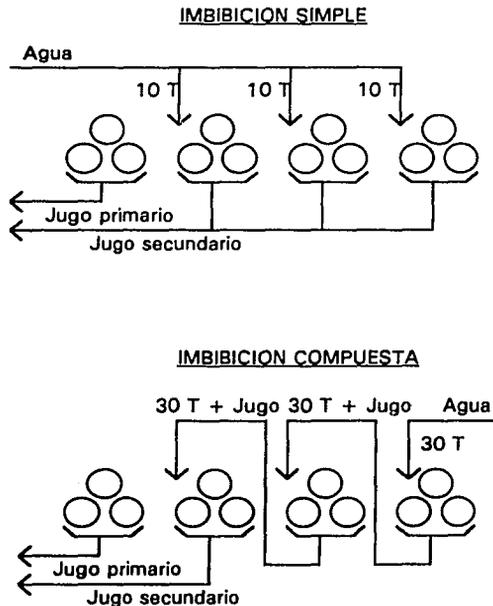


Fig. 6.20. Cantidad de jugo que se maneja en cada método de imbibición.

La cantidad de agua que se agrega para la imbibición debe regirse por dos diferentes puntos de vista; el agua que se agrega durante el proceso, después va a ser necesario evaporarla, por lo que, debe haber un equilibrio entre el costo de las pérdidas de azúcar en el bagazo y el costo de la energía utilizada para la evaporación del exceso de agua; el otro criterio que debe analizarse, es la posibilidad de atascamiento de los molinos por una cantidad excesiva de agua de imbibición.

Cuando la cantidad de agua de imbibición a agregar está limitada, no por la capacidad de evaporación, sino por la probabilidad de atascamiento de los molinos; la capacidad de extracción de la imbibición compuesta se limita más rápidamente que la simple, por lo que en algunas ocasiones, se realizan combinaciones de los métodos simple y compuesto (fig. 6.21).

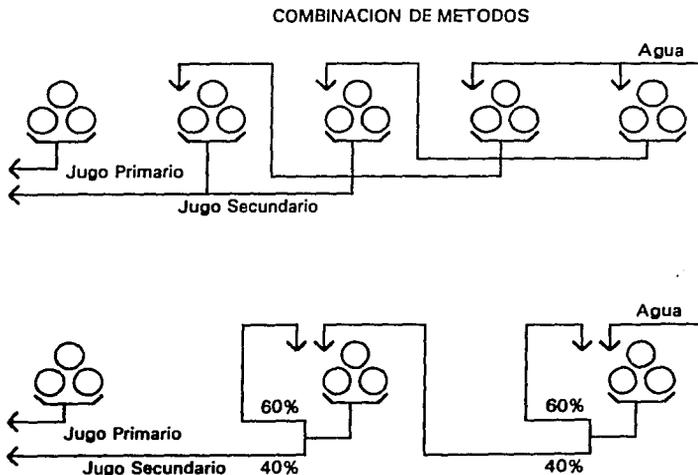


Fig. 6.21. Combinaciones de imbibición simple y compuesta.

La imbibición óptima se obtiene cuando se encuentra el punto de equilibrio entre el costo de la energía que se utiliza para evaporar el agua de imbibición y el precio del azúcar que se obtiene extra, al agregar agua de imbibición.

La eficiencia de imbibición es notablemente mejor cuando el agua está por arriba de 70 °C., antes de esta temperatura no hay beneficio alguno en usar agua caliente y se considera como temperatura óptima entre 80 y 85 °C. La acción del agua caliente es la destrucción del tejido de las paredes celulares para liberar el jugo que contienen y mezclarlo instantáneamente con el agua de imbibición. Unas de las desventajas de usar agua caliente es que el aumento en la extracción de los azúcares es poco y muy difícil de cuantificar. Además, los molinos toman con más dificultad el bagazo caliente, reduciendo por esto su capacidad y cuando se manejan grandes volúmenes, con abundante imbibición, se debe limitar el uso de agua caliente debido a los atascamientos [30].

MACERACIÓN

La imbibición puede ser sustituida por la maceración que consiste en sumergir el bagazo en el líquido de dilución, así la distribución es perfecta y la penetración completa. El problema de la maceración es el elevado consumo de agua de dilución, además de la dificultad para los rodillos de tomar el bagazo saturado de líquido de dilución, por lo que se hace necesario el uso de alimentadores en los molinos.

De igual forma que en la imbibición la eficiencia aumenta cuando se calienta el agua o jugo de dilución hasta 95 °C. antes de llevarlos a las tinas de maceración. Dentro de los ingenios se dice que el aumento en la extracción al usar la maceración no reditúa las complicaciones que representa [29].

4.8 PRENSAS DE TORNILLO

Las prensas de tornillo se utilizaban primero sobre todo en la industria de aceites vegetales. Actualmente encontraron una amplia aplicación en la industria de frutas, vegetales; desperdicios de carne de res, cerdo, pescado; deshidratación de desperdicios industriales y en la industria azucarera. Las prensas de tornillo trabajan de manera continua. La parte de trabajo de la prensa es una criba cilíndrica, dentro de la cual gira un gusano o tornillo. La presión dentro de la prensa puede ser ejercida en tres maneras diferentes [22].

1. La reducción gradual del diámetro de la criba.
2. La reducción del paso del tornillo.
3. El aumento gradual del diámetro del núcleo del tornillo.

Actualmente los dos últimos métodos se combinan entre sí y se fabrican los gusanos con el paso que se reduce y con núcleo que aumenta su diámetro. El diseño de la prensa de tornillo en muchos aspectos es similar al diseño de una ralladora. También si sus parámetros no son seleccionados adecuadamente, su trabajo se limita a un rallado muy intenso del material. La presión ejercida en las prensas de tornillo puede estar en un rango entre 97 y 103 Mpa. [31] pero alcanzan presiones máximas hasta de 110 MPa. [32] y su grado de extracción es bastante mayor que el de las prensas de capa múltiple y de canasta. El jugo obtenido tiene más impurezas (partes sólidas) que el jugo obtenido en las prensas de trabajo cíclico.

Las prensas de tornillo están compuestas esencialmente por un husillo o tornillo sinfin que empuja continuamente la materia prima hacia adelante en una jaula, tambor o criba, ejerciendo al mismo tiempo presión suficiente para hacer pasar el líquido a través de las aberturas de la criba.

La idea de dicha prensa continua fue concebida por Marticke y Anderson hacia 1876, pero la primera prensa que tuvo éxito la construyó en 1900 la Anderson Company de Cleveland (Ohio, USA) [33].

Estas prensas contienen tres elementos esenciales: los dos primeros son el tornillo sinfín y la criba (generalmente horizontal) en la cual gira. El tercer elemento esencial es el estrangulador u obturador, un orificio de presión regulable situado al final de la criba, que provoca la descarga de los sólidos. Además de estos tres elementos principales, la prensa tiene, naturalmente, los dispositivos necesarios para hacer girar el tornillo, como el motor, cojinetes de transmisión y empuje. Lleva también una tolva u otro mecanismo de alimentación, un recipiente para los líquidos y una salida para los sólidos.

Las prensas de tornillo, dependiendo de su aplicación, se fabrican como aparatos de uno o dos tornillos. En la prensa de un tornillo, el tornillo produce el desplazamiento del material desde la entrada hasta la salida del aparato. En varios tipos de prensas de tornillos en la superficie interior de la criba cilíndrica se encuentran unas salientes cuyo objetivo es el mezclado del material (fig. 6.22). La reducción del volumen del espacio libre produce el prensado del material y la extracción del líquido. La salida de los desechos es ajustable por medio del ajuste del tamaño de la abertura entre la criba y la terminación cónica de la prensa. Este cono es normalmente macizo e inmóvil. La empresa Vincent-Rietz (USA) patentó el cono perforado (fig. 6.22) el cual gira con revoluciones diferentes que el gusano dando como resultado la descarga uniforme de los desechos de la prensa y el aumento del grado de extracción.

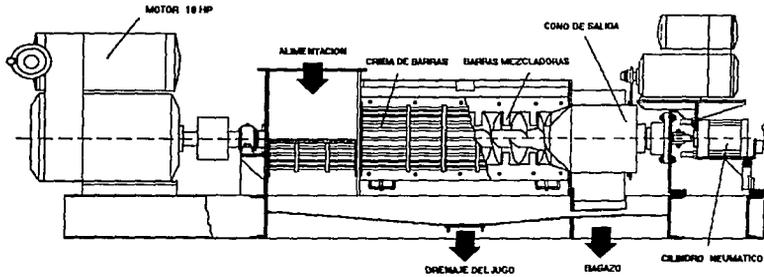


Fig. 6.22. Prensa de tornillo modelo S de la empresa Vincent-Rietz (USA).

La prensa de dos tornillos está formada por dos gusanos colocados en línea, los cuales giran en direcciones opuestas (fig. 6.23). Como las hélices de los tornillos tienen direcciones opuestas (rosca izquierda y rosca derecha) mueven el material desde la entrada hasta la salida en la misma dirección. El material pasando de un gusano al otro está sujeto al mezclado muy intenso y con diferente velocidad periférica de los gusanos, aumenta el efecto de mezclado. Las prensas de dos tornillos hacen posible la obtención de jugos de frutas con bastante menor contenido de sólidos que los jugos obtenidos de las prensas de un tornillo.

La cantidad de sólidos contenidos en el jugo de uva extraído en la prensa de dos tornillos es de 100 a 140 gr/dm^3 cuando para las prensas de un gusano es de 150 a 200 gr/dm^3 . Para tener un punto de comparación, el contenido de sólidos en el jugo de prensas de canasta es de 20 a 40 gr/dm^3 y de prensas de capa múltiple es de 15 a 25 gr/dm^3 [22].

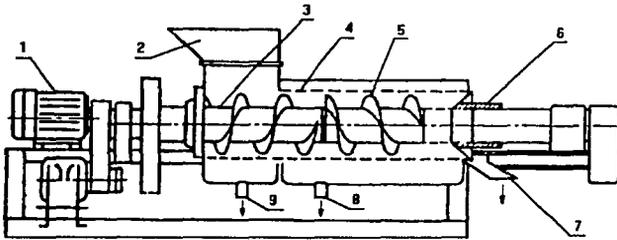


Fig. 6.23. Prensa de dos tornillos.

1- Motor, 2- tolva de alimentación, 3- gusano, 4- criba, 5- gusano, 6- cono de ajuste de salida de bagazo, 7- descarga de bagazo, 8- salida del líquido, 9- jugo obtenido libremente.

Las prensas de tornillo utilizadas en la industria de aceites vegetales, residuos de carne y deshidratación de residuos industriales tienen capacidades desde 0.5 hasta 30 ton/hr, donde el gusano gira de 0.3 a 30 r.p.m. Sin embargo, en las prensas que extraen el jugo de frutas y vegetales suaves con un gran contenido de humedad, el tornillo llega a girar hasta 400 r.p.m.

Para extraer el líquido del bagazo de la remolacha se utilizan prensas de tornillo llamadas "exprimidores". En la industria de Polonia se utilizan comúnmente los exprimidores verticales ZUP de capacidad de 10 a 22 ton. de bagazo de remolacha por hora (fig. 6.24). El gusano gira a 3 o 4 r.p.m. [22].

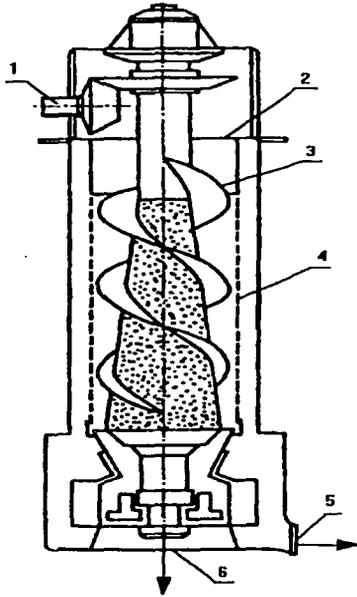


Fig. 6.24. Exprimidor vertical ZUP (Polonia).

1- Propulsión, 2- alimentación de bagazo, 3- gusano, 4- criba, 5- salida de agua, 6 -
descarga de bagazo exprimido.

5. SELECCIÓN DEL MÉTODO Y EQUIPO PARA LA EXTRACCIÓN DEL JUGO DEL AGAVE

Las prensas de tornillo mostraron las mayores ventajas en comparación con las prensas, extractores y molinos que se han mencionado antes en base a los siguientes criterios:

- Presiones máximas de trabajo
- Tiempo de retención bajo la zona de presión.
- Consumo de potencia.
- Materiales que manejan y porcentajes de humedad finales.
- Capacidad de drenaje y filtrabilidad.
- Capacidad (ton/hr.)
- Inversión y costos de mantenimiento.
- Espesores de la capa de bagazo que se manejan.
- Factibilidad para realizar imbibición del bagazo durante el proceso.

A continuación se mencionan ventajas y desventajas de las prensas de tornillo en comparación con los otros tipos de prensas, extractores y molinos antes mencionados. Así también se describe de manera más detallada las características de las prensas de tornillo que se encuentran actualmente en el mercado y se muestran las compañías fabricantes de prensas de tornillo con las características que cada una ofrece.

5.1 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

1) La presiones alcanzadas por las prensas de tornillo son mucho mayores a las presiones que manejan todas las prensas antes mencionadas. Las prensas de tornillo pueden trabajar con presiones hasta de 110 MPa. [32], mientras el rango de presión de las otras prensas se

encuentra entre 1 y 2 MPa. Solamente los molinos de rodillos que se utilizan en los ingenios, funcionan con rangos de presión muy similares a las prensas de tornillo (79 - 98 MPa.) [29].

2) El tiempo que tarda el material en cruzar la prensa de tornillo, depende de las revoluciones del eje, del ángulo de avance de la hélice y de la longitud de la prensa. En base a pruebas realizadas con este tipo de prensas, se pudo observar, que el tiempo de retención es de algunos minutos bajo un aumento de presión continuo. El tiempo de retención es muy importante para permitir que el jugo cruce las fibras y llegue a las zonas de drenaje. Si la presión se aplica y se libera muy rápido, el bagazo reabsorbe el líquido extraído. El bagazo de caña, un material fibroso similar al agave, puede absorber de 5 a 10 veces su peso en agua, como ya se había mencionado antes [29].

En un trapiche se puede considerar que la aplicación de presión máxima es sólo por un instante, mientras el material pasa por el plano axial entre los rodillos (fig. 6.16). El aumento de presión desde cero hasta el máximo se realiza en un lapso de tiempo muy corto, desde que el rodillo hace contacto con el colchón de material hasta que pasa por el plano axial. La única manera de aumentar la retención es disminuyendo las revoluciones del rodillo, lo que repercute grandemente en la capacidad del molino, ejemplo:

6.23 r.p.m. Capacidad: 47.8 ton/hr.

Tiempo de retención: 1.6 seg.

2.00 r.p.m. Capacidad: 15.4 ton/hr.

Tiempo de retención: 5.0 seg.

El tiempo de retención es el tiempo que tarda el rodillo en recorrer aproximadamente 60°, recorrido desde el punto de contacto del rodillo con el colchón de

bagazo hasta el plano axial (fig. 6.16). Para compensar la baja retención de los molinos, se colocan trenes hasta de 7 trapiches en línea, lo que representa una gran inversión.

3) La mayoría de las prensas que se analizaron están diseñadas para la separación de líquidos en frutas y vegetales y en lodos residuales. Solamente las prensas de tornillo son utilizadas para la extracción del líquido de materiales fibrosos como la remolacha, la caña, fibras de madera, etc.

4) La humedad residual que manejan las prensas de frutas y vegetales es alrededor del 55% y la extracción del jugo se encuentra cercana al 80% [22]. Los molinos de rodillos alcanzan hasta 40% de humedad en el bagazo final con trenes de más de 3 molinos en serie [29]. La extracción de los azúcares en el jugo de caña por medio de trenes de molinos es en promedio a nivel nacional de 91%, con trenes de 5 y 6 molinos en promedio colocados en serie y utilizando los métodos de imbibición [34].

Las prensas de tornillo con materiales oleaginosos, logran un aceite residual en el material descargado de 3% [35]. Con materiales fibrosos obtienen alrededor de 50% de humedad en el bagazo [36].

5) La capa de material que maneja una prensa de tornillo es delgada, ya que en promedio, el eje abarca un 70 % del diámetro de la criba. Esto ayuda para drenar rápidamente el jugo hacia la criba de la prensa. El movimiento de la hélice y las barras mezcladoras propician que el material se mueva dentro de la prensa, llevando a todo el material durante algún momento hacia la superficie de la criba para liberar el jugo.

6) La capacidad de los trapiches es muy elevada, debido a los volúmenes de caña manejada en los ingenios, sin embargo, para las necesidades de las más grandes destilerías

de tequila se encontraron diversos modelos de prensas de tornillo con capacidad suficiente.

7) Debido al incremento constante de presión a lo largo de las prensas de tornillo, hay sólo una aplicación de presión y es imposible realizar la imbibición en la mayoría de las prensas. Sólo una compañía ofrece un sistema de multi-etapas que permite la imbibición durante el transcurso del material por la prensa de tornillo pues tiene diferentes etapas de aplicación de presión [37].

8) La relación de potencia instalada entre tonelada de material procesado por hora, aumenta cuando las prensas han sido diseñadas para trabajar con materiales más duros. Los trapiches requieren entre 15 y 35 Hp por tonelada de fibra por hora para la extracción del jugo de caña de azúcar. En la tabla 7.1 se puede observar que la potencia instalada en las prensas de tornillo para materiales fibrosos es poca en comparación con los trapiches.

Tabla 7.1. Potencia instalada promedio para prensas de tornillo.

Material	Hp / (ton/hr.)
Frutas blandas y cítricos	0.5
Materiales fibrosos	16.4
Semillas oleaginosas y copra	36.8

5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Las prensas de tornillo van ejerciendo presión sobre el material conforme va cruzando por la prensa, debido a que el material es forzado a pasar por un volumen libre cada vez más reducido. La reducción de volumen se puede realizar de las siguientes maneras o de la combinación de las mismas:

- Aumento del diámetro del núcleo del tornillo conforme se acerca a la salida.
- Disminución gradual del paso del tornillo.
- Cribas cónicas con reducción del diámetro hacia el final de la prensa.
- Área de salida reducida.

En lo correspondiente al tornillo, hay prensas con tornillo continuo o discontinuo; este último se usa para permitir el paso de barras mezcladoras fijas en el interior de la criba, radiales al eje (fig. 7.1). El tornillo transportador, dependiendo de la forma de la criba, debe tener el borde de la hélice ajustado a la superficie interna de la criba, para que se ejerza la presión debidamente.

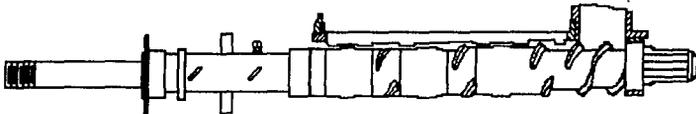


Fig. 7.1. Tornillo discontinuo.

En la zona de descarga se usan diferentes mecanismos para disminuir el área de salida, buscando mantener la presión constante y también, como elementos de seguridad cuando se introducen elementos extraños en las prensas. Hay prensas que tienen fija la abertura entre el eje y la parte final de la criba, por donde se obliga a salir al bagazo y que generalmente es una área menor a la del cilindro. Otras prensas tienen obturador mecánico o hidráulico que permite variar la abertura de salida. Los elementos que antes se mencionaron no sirven como protección debido a que, si un material extraño se introduce en la prensa, seguramente se va a dañar la criba o la hélice del tornillo.

Hay otras prensas con un cono que tapa el área de salida de la criba cilíndrica. El cono aplica una presión que puede ser controlada por medio de resortes, de forma hidráulica o neumática. Al ejercerse una presión sobre el cono por el material prensado, el cono se desliza hacia atrás permitiendo la salida del material con una presión controlada, pero cuando un elemento extraño entra en la prensa y ejerce una presión excesiva sobre el cono, éste retrocede y permite que el material extraño salga sin dañar los elementos de la prensa.

En ocasiones, el cono ha sido diseñado especialmente para materiales fibrosos, para lo cual cuenta con las siguientes ventajas adicionales: el cono tiene perforaciones que permiten drenar el jugo hacia el interior del cono, ya que es contra éste, donde se ejerce la mayor presión; además, el cono puede rotar para reducir la fricción que se produce al salir el material.

Las cribas que forman las prensas de tornillo pueden ser de dos formas diferentes: (a) las más sencillas son cilindros con perforaciones alrededor de toda su superficie, (b) cuando los materiales a procesar son más duros, se usan cribas formadas de barras dispuestas paralelamente al tornillo sin fin y en el interior de anillos robustos que las

sostienen. El espaciamiento entre las barras va a permitir el drenaje del jugo. La sección transversal de las barras es ligeramente trapezoidal, de modo que si las barras están colocadas con sus lados más pequeños hacia el tornillo, a una cierta distancia, el pequeño espacio que hay entre ellas se abre al exterior. La distancia interior entre las barras es solamente de unos 0.125 a 0.5 mm [33]. El espaciamiento exacto se asegura mediante grapas que separan las distintas barras.

5.3 COMPAÑÍAS FABRICANTES DE PRENSAS DE TORNILLO

1) WILLIAM R. PERRIN, INC.

PUSHER SCREW PRESS [38]

- La prensa es de tipo tornillo y está diseñada para deshidratar: materiales fibrosos, lodos de papel, aceite de granos, desperdicios de la industria alimenticia y de la industria vinícola.
- La máquina trabaja de forma cíclica. La flecha puede deslizarse hacia adelante y atrás de 6 a 10 pulgadas gracias a que sólo la mitad de su longitud tiene aspas. El eje tiene aspas continuas y no hay cambio en el diámetro ni en el paso del tornillo. La flecha gira hasta juntar una masa semi-deshidratada en la puerta de salida de la prensa generando una presión sobre la puerta. A un intervalo de tiempo o con un sensor de presión sobre la puerta en forma de cono, la flecha deja de girar y se acciona un cilindro hidráulico que impulsa la flecha hacia adelante deshidratando al máximo y obligando al material a salir. Cuando la flecha ha llegado hasta el cono de salida, el cilindro regresa la flecha a su posición original y comienza de nuevo a girar para comenzar otro ciclo. El ciclo tarda de 15 a 20 segundos.
- La presión del cono de salida está controlada de forma hidráulica por dos cilindros.
- Las prensas se fabrican en cuatro tamaños, el costo va de \$ 84,000. hasta \$ 370,000. USD. y manejan de 10 a 100 ton. secas de material por día.

Modelo PS-600 (2 ton/hr)	\$ 216,580.00 Cdn.
Modelo PS-800 (3.3 ton/hr)	\$ 328,810.00 Cdn.
- Como opción puede elegirse una flecha hueca para introducir agua o vapor y calentarla a fin de obtener una mejor deshidratación del material.

- Toda la prensa se impulsa y controla de forma hidráulica, la presión en la puerta de descarga y la velocidad del tornillo pueden variarse con la presión hidráulica. El motor hidráulico puede ir acoplado directamente o utilizarse una transmisión de cadenas.
- En el panel de control puede elegirse el manejo manual o automático.
- Para controlar el límite de deslizamiento de la flecha y el tiempo de giro del tornillo se pueden mover los "interruptores" que van montados sobre el lado de operación de la máquina dependiendo de los requerimientos del material.
- La criba está formada por barras paralelas alrededor de la flecha.
- Nunca hay presión hacia la criba, sino hacia la puerta de salida.
- Los parámetros que rigen la productividad de la máquina son la velocidad y el tiempo que gira el tornillo, la presión en la puerta de salida y la distancia que recorre el gusano al ser impulsado por el cilindro hidráulico.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

PS-600 = 15 Hp / 2 Ton/hr = 7.5 Hp por tonelada por hora.

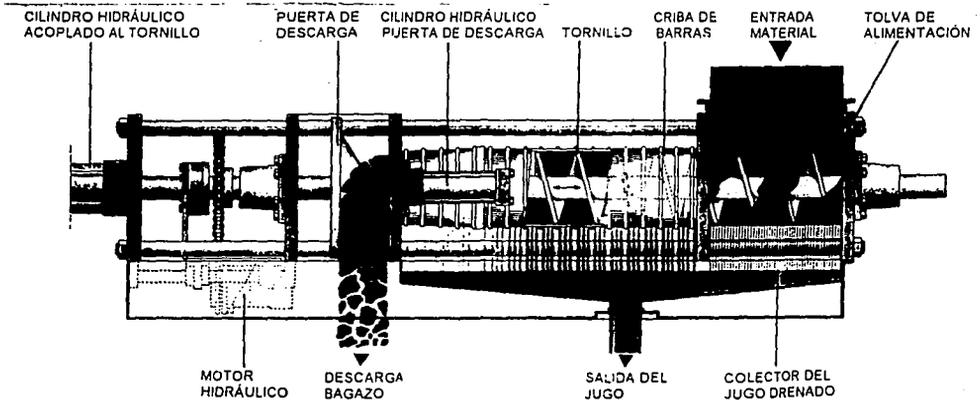


Fig. 7.2. Prensa de tornillo "Perrin Pusher Screw Press".

2) BROWN INTERNATIONAL CO.

PULPERS [39]

- Existen despulpadoras de tipo tornillo y de paletas.
- Para limpiar la jaula, ésta abre con bisagras para un rápido acceso.
- Existe una gran variedad en los diámetros de las perforaciones de las cribas cilíndricas.
- Las despulpadoras de tornillo, tienen un gusano sin cambio de paso ni de diámetro de la flecha, dentro una criba perforada por donde sale el líquido extraído y una válvula al final del gusano aerocargada no rotatoria y ajustable para obtener la presión deseada a lo largo de todo el gusano.
- La producción de las máquinas depende del tipo de producto, presión del aire sobre la válvula, tamaño de los orificios en la criba y la velocidad del tornillo.
- En las máquinas de paletas, las paletas lanzan el material hacia la criba y tienen un cierto grado de inclinación por lo que conducen los sólidos hacia la salida
- Los parámetros de producción en estas máquinas son el número de paletas, la inclinación de las mismas con respecto al eje, la velocidad con que giran y el diámetro del orificios de la criba. La velocidad del eje puede ser hasta 400 r.p.m.

3) ANDERSON INTERNATIONAL, CO.

EXPELLER PRESS [35]

- Para materiales duros, de tipo fibroso y con alto contenido de aceite, como: materiales oleaginosos, copra y germen de maíz. Las prensas logran un porcentaje residual de aceite en coco y germen de maíz de 6 a 7%.
- La prensa tiene dos tornillos donde se realiza la extracción, uno vertical y el otro horizontal. El tornillo vertical tiene aspas continuas por lo que realiza la alimentación a presión y produce una extracción del 50%, se le llama tornillo alimentador y no tiene aumento en el diámetro del núcleo ni disminución del paso de la hélice. El tornillo horizontal o de alta presión tiene las aspas interrumpidas ya que la criba lleva dos barras, una superior y una inferior con salientes que mezclan el material y lo trituran al pasar las aspas por dichas salientes. Las interrupciones de la hélice se presentan cada 350° y el eje del tornillo de alta presión aumenta su diámetro conforme se aproxima a la salida. El eje puede ser hueco para permitir el enfriamiento con agua y evitar el desgaste excesivo de la flecha.
- Las cribas, tanto la vertical como la horizontal son barras paralelas a sus ejes respectivos; la separación entre ellas es mínima para permitir sólo la salida a los líquidos. Las barras están sostenidas por anillos en su parte exterior. Las salientes de las barras superior e inferior aseguran que el material se mezcle y no gire junto con el tornillo asegurando que el material se transporte dentro de la prensa y obligando a todo el material a estar en algún momento junto a la superficie interna de la criba.
- Cada flecha es movida por un motor eléctrico independiente para poder variar las velocidades de alimentación con el tornillo vertical. Los motores van acoplados a cajas reductoras de engranes y después a las flechas correspondientes.

- Para salir el material necesita pasar entre un obturador que se cierra y abre variando el espacio libre con la flecha, originando así cambios en la presión de salida. El obturador se manipula de forma mecánica.
- El material a procesar se puede precalentar antes de entrar en el tornillo alimentador (vertical) por medio de vapor para facilitar la extracción.
- Los parámetros que rigen la capacidad de la máquina son la velocidad a la que giran los tornillos y la abertura del obturador de salida.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

Expeller Press 33 Duplex = $40 + 50 \text{ Hp} / 3 \text{ Ton/hr} = 30 \text{ Hp por tonelada por hora.}$

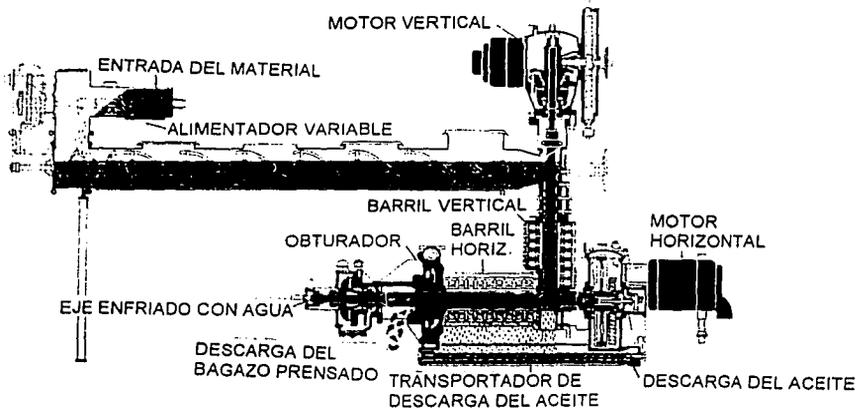


Fig. 7.3. Prensa de tornillo "Anderson International Expeller Press".

4) FMC CORPORATION.

JUICE EXTRACTOR [40]

- Existen dos tipos de prensas de esta marca, una es de paletas y otra es de tornillo.
- Las máquinas de paletas son apropiadas para extraer el jugo de frutas tropicales, como mango, durazno, etc. Las paletas giran dentro de una criba con perforaciones y tienen una inclinación con respecto al eje para transportar el material hacia la salida. Así, el material es lanzado hacia la criba lo que produce la extracción del jugo mientras el bagazo se va recorriendo hacia la puerta de descarga que tiene una presión que puede ser regulada durante la operación para controlar la humedad del bagazo. Si los huesos o semillas son más grandes que el claro entre la criba y las paletas la máquina también realiza la separación de las mismas con ayuda de cepillos para el menor daño de la criba.
- Adicionalmente a la cámara se le puede inyectar vapor para facilitar la extracción.
- Dependiendo de diversos parámetros de trabajo la máquina puede obtener líquidos o semi-líquidos de las verduras o frutas que se procesen.
- Los parámetros importantes a considerar en este tipo de máquinas son: la medida de las perforaciones en la criba, el claro entre las paletas y la criba, la presión de la puerta de descarga y la inclinación de las paletas con respecto al eje.
- Las prensas de tornillo están específicamente diseñadas para frutas y vegetales fibrosos como piñas, zanahorias, etc. La presión se ejerce gracias a la fuerza que actúa sobre el material para transportarlo hacia la salida donde se encuentra una válvula que controla la presión sobre la puerta de descarga impidiendo la salida del material y propiciando la presión a todo lo largo del tornillo mientras el flujo sea continuo.
- El tornillo gira dentro de una criba cilíndrica con perforaciones que pueden variar dependiendo del material que se vaya a procesar.

- Los parámetros que se manejan aquí son la velocidad del tornillo, el diámetro de las perforaciones de la criba y la presión en la puerta de descarga.

5) AMERICAN SCREW PRESS INC.

SCREW PRESS [41]

- El tornillo es de hélice continua y con paso constante pero el diámetro del eje aumenta para ejercer la presión.
- La masa deshidratada se descarga al final de la prensa donde se encuentra un cono, presurizado de manera hidráulica y con resortes, que ejerce la presión máxima antes de que el material salga.
- El tambor de la prensa consiste de una criba que cuela los líquidos al salir.
- La flecha gira de 0.3 a 2.0 r.p.m. lo que permite al material estar algunos minutos dentro de la prensa pasando de la presión más baja hasta la más alta antes de salir. El tiempo que dura el material bajo presión es suficiente para permitir que el líquido fluya entre la masa comprimida hasta llegar a la salida a través de la criba.
- Se puede introducir vapor por el centro de la flecha para reducir la fricción del líquido y lograr una mejor deshidratación.
- La criba es un cilindro con perforaciones y el diámetro de las mismas se puede elegir dependiendo del material a procesar.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

Modelo SNG-350 = 20 Hp / 12 Ton/hr = 1.7 Hp por tonelada por hora.

El precio del modelo SNG-350 es de 144,500.00 USD.

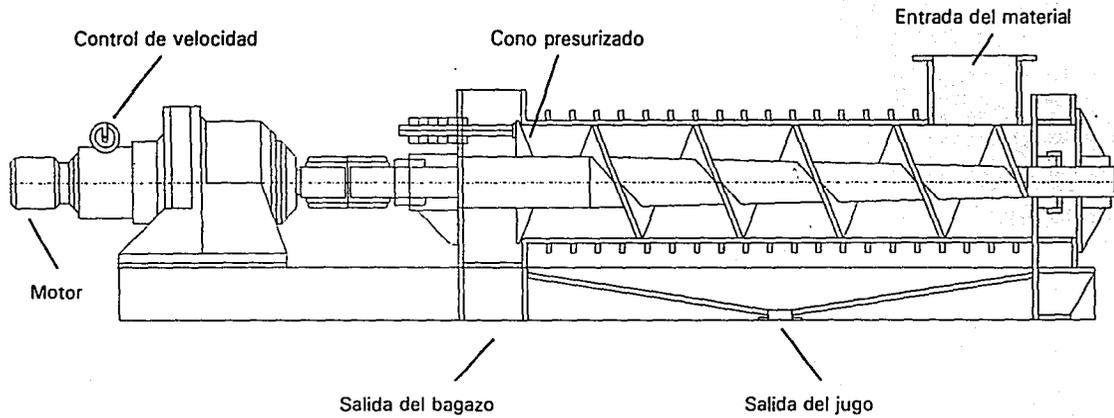


Fig. 7.4. Prensa de tornillo "American Screw Press".

6) VINCENT CO.

SCREW PRESS [42]

- Prensa de tornillo donde la flecha está diseñada con paso que cambia paulatinamente y las aspas del tornillo son interrumpidas por las salientes de la criba, dichas saliente aseguran el mezclado del material durante el paso en la prensa exponiendo más el material hacia el área de la criba. La reducción paulatina del paso de tornillo comprime el material conforme va pasando por la cámara de presado.
- Al final de la prensa se encuentra un cono ejerciendo presión contra la salida del material logrando así la extracción máxima, y la presión del cono puede ser ajustada durante la operación. El cono es empujado neumáticamente y puede ser rotatorio o fijo. El fijo es recomendable para materiales fibrosos, no resbalosos y para pulpas; y el rotatorio es diseñado especialmente para materiales resbalosos y de poca fibra. El cono gira a una velocidad del 2 al 10% de la velocidad de la flecha principal. Ambos conos tienen orificios en la superficie para drenaje interno de manera que también sirven de criba.
- La máquina tiene un variador de velocidad de la flecha principal que puede ser hidráulico o mecánico para obtener el mejor rendimiento y la máxima capacidad. El motor es eléctrico montado sobre la caja reductora de engranes utilizando una transmisión de bandas.
- Las cribas son cilíndricas y perforadas. El diámetro de las perforaciones es desde 0.032 hasta 0.125 pulgadas. La criba consta de dos partes y en la parte central tienen unas barras con salientes para mezclar el material.
- Manejan principalmente materiales fibrosos y pulpas.
- La capacidad de la máquina está dada por la velocidad a la que gire la flecha, además, la presión del cono de salida y la criba que se utilice.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

Modelo VP-12 = 10 Hp / 8.1 Ton/hr = 1.2 Hp por tonelada por hora.

- El precio de algunos modelos es el siguiente:

Modelo VP-12 con capacidad para 8 ton/hr: \$ 82,875.00 USD.

Modelo VP-16 con capacidad para 18 ton/hr: \$ 102,940.00 USD.

- El precio de los modelos usados es:

Modelo Rietz RSP-12 con capacidad para 8 ton/hr: \$ 55,000.00 USD.

Modelo Rietz RSP-16 con capacidad para 18 ton/hr: \$ 75,000.00 USD.

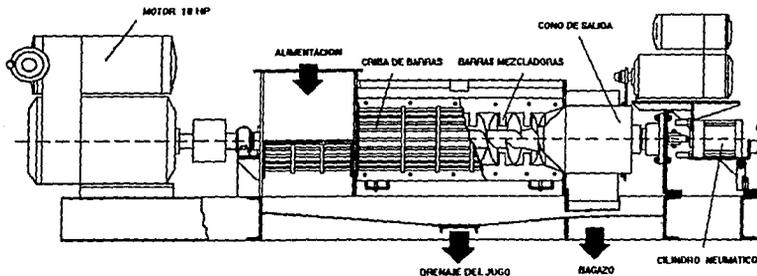


Fig. 7.5. Prensa horizontal "Vincent".

7) BELIOT CORPORATION

PRESSMASTER PRESS [43]

- La marca Beliot tiene prensas de tornillo verticales y horizontales.
- Las prensas de tornillo horizontales tienen una criba cilíndrica y una flecha cónica que aumenta su radio conforme se acerca a la zona de descarga de la prensa, en esta misma dirección las aspas del tornillo van disminuyendo su tamaño teniendo cuidado que el ajuste del tornillo con la criba sea preciso para que haya una buena compactación del material. El paso de la hélice se disminuye progresivamente y la hélice es interrumpida para permitir el paso de barras mezcladoras. Dependiendo del material a comprimir se puede elegir el tipo de tornillo: deshidratación normal, difícil y extrema (fig. 7.6).



Tornillo estándar para deshidratación normal



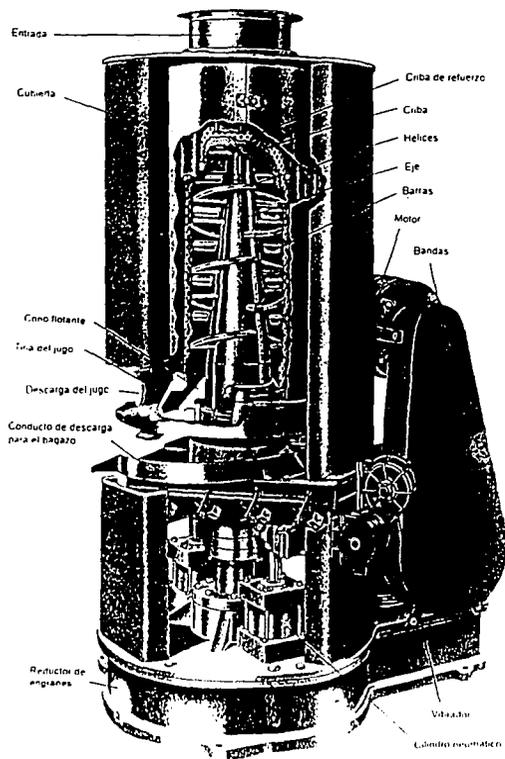
Tornillo serie 25 para deshidratación difícil



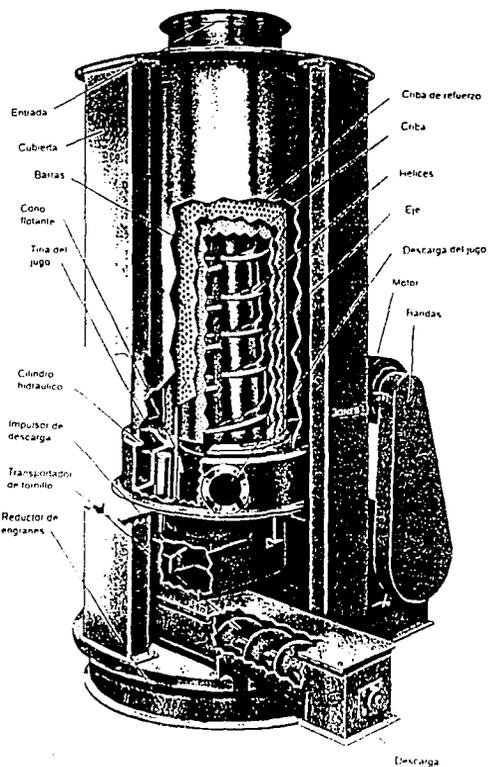
Tornillo serie 50 para deshidratación extrema

Fig. 7.6. Tipos de tornillos para las prensas verticales.

- La humedad del bagazo residual es controlada por medio de un cono flotante al final de la prensa que permite cambiar la presión que ejerce sobre el material a fin de obtener los mejores rendimientos. El cono está soportado por un cilindro neumático.
- Como equipo opcional se puede adquirir un variador de velocidad para ajustar mejor los parámetros de trabajo de un material específico.
- A las prensas se les puede adicionar un pre-drenador para materiales que contienen mucha humedad, así la prensa tendrá un mejor rendimiento y mayor capacidad. El pre-drenador es un tornillo continuo dispuesto de manera horizontal que compacta el material.
- Para materiales gruesos o fibrosos se puede cambiar el cono flotante por otro mecanismo especialmente diseñado para éstos (orificio restringidor fijo de descarga).
- Las prensas verticales tienen dos cribas cilíndricas concéntricas, la de menor radio con orificios más pequeños que la otra. Las perforaciones van desde 0.023 hasta .062 pulgadas. La criba se abre por mitad para facilitar el mantenimiento y limpieza.
- La criba interior tiene en su estructura unas salientes resistentes a la altura de las interrupciones de las hélices para mezclar el material y asegurar que no gire junto con el eje.
- La carga del material se realiza por la parte superior de la prensa donde el tornillo lo conduce hacia abajo por medio de las aspas, disminuyendo el espacio donde se encuentra el material, mientras va bajando se produce la compresión y la extracción del jugo a través de los orificios de las cribas.
- El motor es eléctrico y puede ser de velocidad variable o constante, el motor transmite el movimiento al reductor por medio de bandas y el reductor se acopla de manera directa a la flecha.
- Las prensas horizontales tienen las mismas características que las prensas verticales.



Serie A. Descarga vibratoria.



Serie B. Descarga con transportador de tornillo.

Fig. 7.7. Prensas de tornillo verticales de la cia. Beloit.

8) FRENCH OIL MILL MACHINERY CO.

PULP PRESS [36]

- La prensa es una criba cilíndrica de barras concéntricas a un eje o flecha con una espiral interrumpida por donde pasan las salientes de dos barras principales, una superior y otra inferior lo que asegura la mezcla del material y que el material no gire junto con la flecha. El diámetro de la flecha aumenta mientras se aproxima a la salida del material. La separación de las barras de la criba es ajustable y en la criba se pueden colocar inyectores de agua o vapor para enfriar o calentar el material en diferentes zonas de la prensa.
- El eje es una combinación de dos flechas: una es el gusano alimentador de hélice continua y que gira a alta velocidad, y la otra es el gusano principal de prensado que tiene la hélice interrumpida y gira a baja velocidad. Este efecto produce una compactación y una entrada forzada en línea recta del material hacia el gusano principal de prensado logrando así una mejor extracción y la utilización de todo el largo de la criba. El tornillo está compuesto de anillos removibles para poder formar diferentes arreglos, invertirlos 180° una vez que se ha desgastado un lado, prolongando su vida útil o reemplazarlos por anillos nuevos (fig. 7.9). La hélice tiene una interrupción de 10° en cada vuelta.
- Al final del eje se encuentra un cono impidiendo la salida del material, el cono no rota y tiene orificios por donde se drena el líquido interno del material que es el más difícil de extraer. Para que el líquido interno pueda salir por la criba es necesario que cruce toda la capa de material que ya ha expulsado los líquidos para poder llegar a la periferia, por lo tanto es más fácil que salga hacia el interior del cono al final de la prensa.

- La presión del cono es hidráulica y puede variarse durante el proceso a fin de obtener los mejores resultados. El cono se puede remover por medio de bisagras lo que permite cambiar los anillos de la flecha.
- Para impulsar las dos partes de la flecha se requiere de un solo motor y un reductor con una transmisión de engranes.
- Estas prensas procesan aceite de: coco, semillas de girasol, semillas de algodón, cacahuete, y además se utilizan para deshidratar el bagazo de caña de azúcar. El aceite residual en semillas de algodón es del 3% y el contenido residual de materiales oleaginosos es entre 2.5 y 5.5%.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:
Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)
Modelo LP-1890 = 50 Hp / 8 Ton/hr = 6.25 Hp por tonelada por hora.
- El precio de este modelo es:
Modelo LP-1890 con capacidad para 8 ton/hr: \$ 215,000.00 USD.

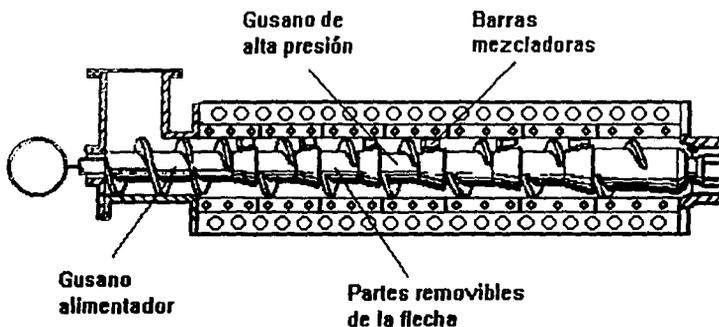


Fig. 7.8. Prensa de tornillo de la Cia. The French Oil Mill Machinery.

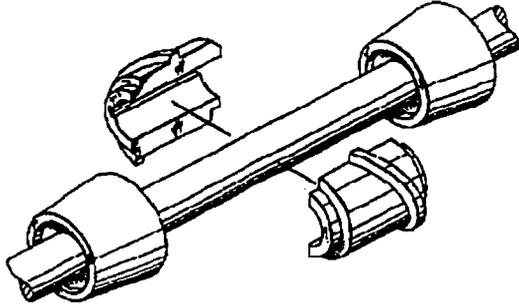


Fig. 7.9. Anillos removibles que forman el tornillo de alta presión [44].

9) DUPPS, INC.

PRESSOR SCREW PRESS [45]

- Son prensas de tornillo horizontales.
- Las cribas son de barras.
- Se utilizan para deshidratar carne (res, cerdo, aves, pescado), lodos de la industria de papel, extraer aceites vegetales y mantequilla de cocoa.
- En la salida de la prensa hay un obturador manejado hidráulicamente. El panel de control mantiene de forma automática al obturador en su posición y permite hacer variaciones en la presión.
- Hay variedad de diseños en la flecha dependiendo del material a procesar.
- Si el material requiere de un secado extra, la flecha puede ser calentada interiormente con vapor.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

Modelo 10" Pressor = 150 Hp / 5.5 Ton/hr = 27.3 Hp por tonelada por hora.



Fig. 7.10. Prensa horizontal de tornillo Dupps.

10) DEDERT

DEWATERING SCREW PRESS [46]

- Las prensas han sido usadas para deshidratar materiales fibrosos como la pulpa de remolacha en plantas de azúcar, así también como: manzana, cascara de cítricos, fibra de maíz, desperdicios de carne y vegetales y granos de café.
- Hay diseños particulares del tornillo para cada material dependiendo de: la humedad inicial del material a deshidratar, el volumen de producción requerido, el tiempo de retención necesario en la zona de presión, las características de deshidratación, la humedad final requerida y la consistencia del bagazo. La prensa puede ser de dos tipos en base al material: eje cilíndrico - criba cónica (fig. 7.11) o eje cónico - criba cilíndrica (fig. 7.12).

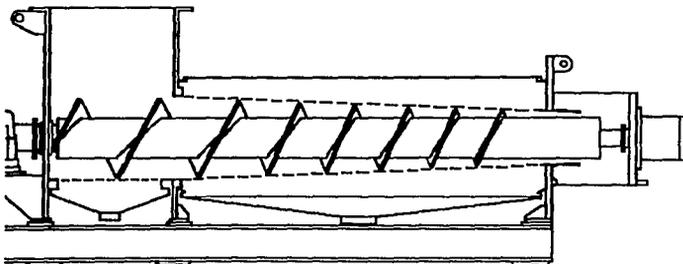


Fig. 7.11. Prensa Dedert con disminución en el diámetro de la criba.

- Adaptan la longitud, el diámetro y la reducción de paso del tornillo dependiendo de los requerimientos del material.
- Para productos de maíz usan máquinas con tornillos gemelos.
- La jaula o criba va reforzada dependiendo de las presiones que se van a emplear en el proceso.

- Tienen diferentes tipos de orificios en la criba con el fin de evitar que se tapen: cónicos, con reducción de diámetro, cilíndrico - cónico, etc (fig 7.13).
- La puerta de descarga es cónica y está soportada por un cilindro neumático.

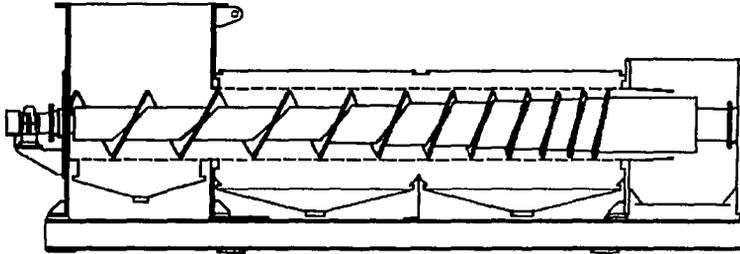


Fig. 7.12. Prensa Dedert con aumento en el diámetro de la flecha.

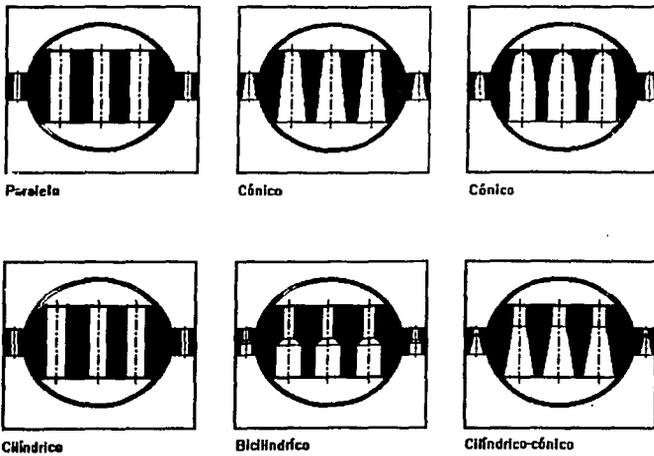


Fig. 7.13. Diferentes tipos de orificios para las cribas.

11) HEYL & PATTERSON INC.

MULTI-STAGE MECHANICAL PROCESSOR [37]

- Las prensas de tornillo de esta compañía ofrecen la ventaja de tener múltiples etapas dentro de la prensa, esto significa que el tornillo ejerce diversas etapas de presión, para lo cual el tornillo está formado por varios conos como se muestra en la fig. 9.37. El diámetro final de los conos va aumentando progresivamente al acercarse a la salida. El paso de la hélice en un cono es constante, pero entre un cono y otro el paso se reduce, de manera que el último cono tiene el paso mucho más reducido que el primero.
- Entre un cono y otro hay una zona donde se libera la presión y el material se expande, también se aprovecha esa zona para pasar barras mezcladoras que están fijas en la parte interna de la criba.
- El número de etapas de la prensa puede ser diseñado en base a las necesidades del material a prensar, siendo la única limitante la longitud de la prensa. Para prensas cortas es recomendable tener sólo dos etapas de presión o una sola etapa.
- La flecha es impulsada por un motor eléctrico que se acopla en línea recta a un controlador de velocidad; éste puede ser mecánico o hidráulico. El controlador también se acopla en forma directa al reductor de engranes y por último a la flecha del tornillo. Las revoluciones normales de trabajo son alrededor de 3 r.p.m.
- La criba es un cilindro con orificios soportado por unas barras paralelas al eje y las barras están soportadas con anillos. Dicho arreglo da mucha rigidez a la criba. La criba presenta salientes en las zonas de liberación de la presión, entre un cono y otro, para mezclar e impedir que el material gire junto con el eje.
- En la criba se pueden instalar inyectores de agua o vapor en las zonas donde se libera la presión para realizar la imbibición y así obtener mejor rendimiento en la extracción.
- La salida del bagazo al final de la prensa es simplemente una disminución de la estructura, donde el diámetro del orificio de salida es más pequeño que el diámetro de

la criba y no se puede variar después de que ha sido construida de acuerdo a las necesidades del material.

- Las prensas se utilizan para remover el exceso de agua en pulpas de madera para la industria papelera, para mezclar y prensar en la industria química y de minerales, para la extracción y difusión en la industria alimenticia, para deshidratar y obtener aceites de desperdicios de carne y pescado y para obtener aceites de semillas oleaginosas.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

$$8' \text{ Press} = 30 \text{ Hp} / 4 \text{ Ton/hr} = 7.5 \text{ Hp por tonelada por hora.}$$

- Los precios de estas máquinas se muestran a continuación:

4' Press con capacidad para 1 ton/hr	\$ 57,000.00 USD.
5' Press con capacidad para 2 ton/hr	\$ 68,000.00 USD.
8' Press con capacidad para 4 ton/hr	\$ 135,000.00 USD.
10' Press con capacidad para 8.5 ton/hr	\$ 145,000.00 USD.
12' Press con capacidad para 18 ton/hr	\$ 165,000.00 USD.
16' Press con capacidad para 22.5 ton/hr	\$ 245,000.00 USD.

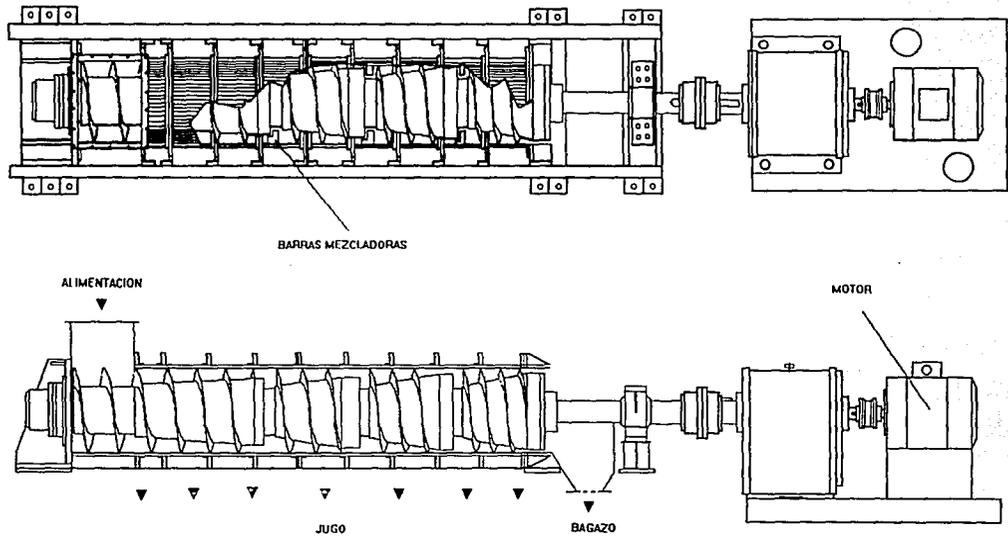


Fig. 7.14. Prensa de multi-etapas de la compañía Heyl & Patterson. Vista superior y lateral.

12) SUNDS DEFIBRATOR SCREW FEEDER [47]

- La prensa consta de un tornillo que al inicio no tiene cambios, por lo que sólo es un transportador del material hacia la segunda zona, donde se disminuye el diámetro de la criba y por lo tanto el diámetro exterior de la hélice, logrando así la extracción.
- En la parte donde el tornillo es constante no hay criba, sólo en la zona de presión la criba es un cilindro que va disminuyendo su diámetro.
- El motor es eléctrico y por medio de bandas se lleva el movimiento al reductor que está conectado de forma directa con la flecha.
- Este tipo de prensas se usan para remover el líquido de pulpas de bagazo y en la deshidratación de fibras de madera para la fabricación del papel.
- La relación de capacidad con la potencia instalada es la siguiente:

Potencia instalada (Hp) / capacidad (Ton/hr)

10" Plug Screw Feeder = 75 Hp / 1.85 Ton/hr = 40.5 Hp por tonelada por hora.

- El costo de esta máquina es:

10" Plug Screw Feeder con capacidad para 1.85 ton/hr \$ 233,600.00 USD.

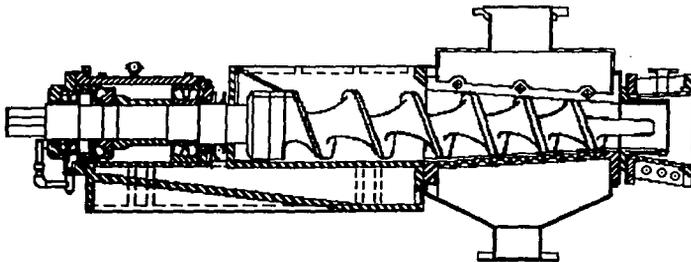


Fig. 7.15. Prensa "Plug Screw Feeder" de la compañía Sunds Defibrator.

6. PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DEL JUGO DEL AGAVE

De las prensas de tornillo que fueron analizadas anteriormente, hubo diversas compañías que ofrecieron la posibilidad de llevar a cabo pruebas en sus laboratorios, en ocasiones con prensas de tamaño normal o con modelos a escala. Por lo tanto se optó por realizar pruebas con cuatro compañías tomando en cuenta los diferentes tipos de prensas de tornillo que se encontraron, para lo cual se mandó materia prima a las siguientes compañías que fueron elegidas:

- Vincent Co. Prensa de tornillo discontinuo y con cono de presión para controlar la salida.
- Heyl & Patterson Inc. Prensa de multi - etapas con salida fija.
- French Oil Mill Machinery Co. Prensa de tornillo discontinuo de dos etapas (baja y alta presión) y con cono perforado de presión para controlar la salida.
- American Screw Press Inc. Prensa de tornillo continuo con aumento de diámetro del eje del tornillo y cono de presión para controlar la salida del bagazo.

El material que se mandó para los laboratorios fue maguey verde cocido, en la mayoría de los casos envuelto en bolsas de plástico y contenedores para evitar que se perdiera la humedad. Antes de enviar el material, se realizó un análisis bromatológico (anexo 1), y en algunos casos se analizó el material antes de introducirlo en las prensas para correr las pruebas.

6.1 PRUEBAS CON LA CÍA. HEYL & PATTERSON INC.

La prensa tipo tornillo que se usó para llevar a cabo las pruebas de extracción del jugo de agave tiene una longitud de 5' y está formada por un tornillo de tres etapas. Con el propósito de ejercer presión, el eje de dicho tornillo está formado por una parte sin cambio en el diámetro del eje, para la alimentación del material, y por tres conos en la zona de presión. Conforme el material va pasando por la prensa, los conos aumentan cada vez más su sección, de manera que el espacio libre entre la criba y la parte final del último cono es el más reducido. Además del aumento en el diámetro final, en cada uno de los conos que forman el eje, el paso de la hélice va disminuyendo, de tal forma, que la primer zona de presión tiene un paso constante pero menor al de las dos etapas siguientes y así sucesivamente. Por lo tanto, es en el último cono donde se ejerce la mayor presión, puesto que el cono tiene el mayor aumento del diámetro del núcleo y el paso de la hélice más reducido.

De acuerdo a la forma del tornillo que se ha descrito, se obtienen tres zonas de presión que proporcionalmente van aumentando al acercarse a la salida. Entre cada etapa, la presión se libera con el objeto de que el material esponje y así pueda recibir agua de imbibición, además en esa zona donde la hélice se interrumpe, el material es mezclado por una barras colocadas en la criba de forma radial al eje. Cuando las barras entran en contacto con el material mezclan y exponen las partes que iban junto al eje hacia la superficie de la criba, permitiendo que el jugo que contienen sea liberado por los orificios de la criba. La forma de realizar la extracción en estas prensas es similar al método de los trenes de molinos azucareros, donde se aplica presión sobre el material conforme pasa entre los rodillos de un molino, pero al transportar el material de un molino hacia el siguiente, al bagazo se le agrega agua para buscar diluir los azúcares que contiene mientras no está bajo presión.

El material fue partido en trozos de 20 x 15 cm. aprox. para que pudiera entrar en la tolva de alimentación, lo cual no fue lo más conveniente, pero la máquina no tuvo problemas para tomar el material. Sólo en una ocasión se trató de desfibrar el maguey, lo que dio como resultado una alimentación constante, más sencilla y un aumento en la capacidad de material manejado por la prensa.

Durante la extracción a través de la prensa, por la criba, brotaban los chorros de jugo y carnaza contenidos en el maguey, para caer en una charola recolectora debajo de la criba. En la zona de descarga, al bagazo que se obtenía era imposible extraerle líquido con las manos, cosa que no sucede con el bagazo que se obtiene en la tahona actualmente.

Durante dos de las pruebas se agregó agua de imbibición a una temperatura de 78°C en las zonas donde la presión se liberaba, con el objeto de que hubiera imbibición en el proceso.

En la tabla 8.1 se muestra el análisis bromatológico que se obtuvo del maguey que fue introducido en la prensa (anexo 1):

Tabla 8.1. Análisis bromatológico del maguey cocido.

Humedad	78 %
Sólidos disueltos (Carbohidratos)	15.7 %
Sólidos suspendidos (Fibra y cenizas)	6.3 %

Antes de iniciar las pruebas se tomaron tres muestras diferentes del maguey contenido en uno de los cinco tambores que se mandaron, para poder obtener la humedad inicial del material. El resultado que se obtuvo fue en promedio 78%, lo que coincide con el dato que se tenía del análisis bromatológico. Lo anterior se debió a que las bolsas de plástico en las cuales iba el maguey mantuvieron la humedad perfectamente. El jugo había escurrido hacia el fondo del tambor y el maguey del fondo estaba sumergido en jugo mientras que el maguey de la parte superior estaba menos húmedo.

Las siguientes tablas nos muestran los resultados de las cuatro pruebas que fueron llevadas a cabo en el laboratorio. Para cada una de las pruebas se tomaron lecturas de la cantidad de maguey que se iba a alimentar, del bagazo, del jugo obtenido y de la humedad del bagazo final. Como consecuencia de haber encontrado algunas diferencias al analizar los resultados teóricamente, se muestra en cada tabla la humedad teórica y a continuación la humedad medida en el laboratorio. Se considera que el dato de humedad medido no es muy exacto, puesto que para realizar la medición sólo se requería de una pequeña muestra del bagazo, la cual, pudo no ser representativa del total. Además, el aparato que se utilizó era una báscula de alta precisión que se calibraba manualmente después de cada medición. Por otra parte, los datos de humedad medidos están muy por afuera de la humedad obtenida con otras prensas, cosa que no sucede con los datos obtenidos de forma teórica.

Tabla 8.2. Resultados de la prueba 1 (R.P.M. = 3)

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	° Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendidos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	43.6	77.7	33.9	16.8	6.8	2.9	9.7
Salida:							
Jugo	37	83.2	30.8	16.8	6.2	0.0	6.2
Bagazo	6.6	46.7	3.1	16.8	0.6	2.9	3.3°

$$\text{Humedad calculada del bagazo} = \frac{3.1}{6.6} = 46.7\%$$

$$^{\circ} \text{Brix} = \frac{6.2}{37} = 16.8^{\circ}$$

$$\text{Humedad medida del bagazo} = 26\%$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{6.2}{6.8} = 90.9\%$$

Tabla 8.3. Resultados de la prueba 2 (R.P.M. = 5)

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	° Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendidos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	47.7	77.7	37.0	16.8	7.5	3.2	10.7
Salida:							
Jugo	37	83.2	30.8	16.8	6.2	0.0	6.2
Bagazo	10.7	57.9	6.2	16.8	1.3	3.2	4.5

$$\text{Humedad calculada del bagazo} = \frac{6.2}{10.7} = 57.9\%$$

$$^{\circ} \text{Brix} = \frac{6.2}{37} = 16.8^{\circ}$$

$$\text{Humedad medida del bagazo} = 35\%$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{6.2}{7.5} = 82.7\%$$

Tabla 8.4. Resultados de la prueba 3

(R.P.M. = 3, $\lambda = 1.21$)

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	°Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendedos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	55.0	81.6	44.9	13.7	7.1	3.0	10.1
Salida:							
Jugo	47.8	86.2	41.2	13.7	6.6	0.0	6.6
Bagazo	7.2	50.5	3.7	13.7	0.5	3.0	3.5

$$\text{Humedad calculada del bagazo} = \frac{3.7}{7.2} = 50.5\%$$

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{6.6}{47.8} = 13.7^{\circ}$$

$$\text{Humedad medida del bagazo} = 42\%$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{6.6}{7.1} = 91.9\%$$

Tabla 8.5. Resultados de la prueba 4

(R.P.M. = 3, $\lambda = 3.78$)

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	°Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendedos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	75.3	86.6	65.2	9.9	7.1	3.1	10.1
Salida:							
Jugo	65.8	90.1	59.3	9.9	6.5	0.0	6.5
Bagazo	9.5	62.1	5.9	9.9	0.6	3.1	3.7

$$\text{Humedad calculada del bagazo} = \frac{5.9}{9.5} = 62.1\%$$

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{6.5}{65.8} = 9.9^{\circ}$$

$$\text{Humedad medida del bagazo} = 49\%$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{6.5}{7.1} = 91.5\%$$

En las pruebas 3 y 4 (tablas 8.4 y 8.5) se menciona el factor λ que se refiere a la cantidad de agua utilizada para la imbibición del bagazo. Este factor es muy utilizado en la industria azucarera y representa la siguiente relación [29], como ya se había mencionado antes:

$$\lambda = \frac{W}{F} = \frac{\text{Cantidad de agua por unidad de peso de caña}}{\text{Fibra contenida por unidad de caña}}$$

Entre los valores de $\lambda = 0, 1, 2$ y 3 los beneficios de la imbibición son muy notables como se observa en la fig. 6.19, sin embargo por arriba del valor de 3 la imbibición ya no presenta beneficios substanciales [29]. Por tales motivos se realizaron dos pruebas con imbibición simple y con factores de $\lambda = 1.21$ y 3.78 .

Para comprobar los datos teóricos obtenidos anteriormente después de cada tabla de resultados, se usará la fórmula del Manual para Ingenieros Azucareros [29] para conocer la extracción de azúcar en la prueba 1 (tabla 8.2):

$$\text{EXTRACCIÓN DE SACAROSA} = \frac{\text{Cantidad de jugo} \times \text{°Brix}}{\text{Cantidad de caña} \times \% \text{ de azúcares}}$$

$$\text{Extracción} = \frac{37 \text{ kg} \times 16.83\%}{43.6 \text{ kg} \times 15.71\%} = 90.9\%$$

El resultado de 90.9% que se obtuvo con la fórmula de extracción de sacarosa coincide con el dato de extracción de azúcar obtenido en la tabla 8.2.

Como conclusiones de las pruebas se puede mencionar que la extracción obtenida cuando la prensa trabaja a 3 r.p.m., que es el rango usual, siempre se encuentra por arriba del 90 %.

No se encontró mucha mejoría al agregar agua de imbibición durante las pruebas 3 y 4 (tablas 8.4 y 8.5), porque el agua debió haber entrado en la prensa a presión, para que hubiera una buena penetración del agua entre las fibras del maguey. El agua se agregó directamente en la parte superior de la criba de la prensa, exactamente en las zonas de liberación de presión. El agua al agregarla de esta manera no penetró entre las fibras del maguey para disolver los azúcares y por lo tanto la imbibición no fue buena.

Al variar la velocidad del tornillo se obtuvo un aumento del 107% en capacidad, pero claramente se reflejó en la extracción y en el grado de humedad en el bagazo. Para este aumento, también influyó que el material iba perfectamente desfibrado y semi-deshidratado, por lo cual la alimentación en la prensa fue más sencilla. Con lo anterior se comprobó que es necesaria una buena preparación del agave para la alimentación continua y automatizada de la prensa.

Con los datos de humedad que se tomaron en el laboratorio hay una incongruencia al analizar la cantidad de azúcar obtenida, debido a la relación que mantienen el azúcar y el agua y que se representa por el grado Brix. Probablemente esta diferencia se debe a que se tomó una pequeña muestra del bagazo para medir la humedad, además, los valores de humedad que fueron medidos son realmente muy difíciles de alcanzar. De otras experiencias se ha conocido que el llegar al 35% de humedad, se logra sólo en base a un consumo desmedido de energía y provoca un desgaste excesivo de la prensa [48].

Para explicar un poco más lo anterior, se dirá que en la prueba 1 (tabla 8.2), con la cantidad de bagazo que se obtuvo y la humedad medida, se obtiene que la extracción fue del 71% y el grado Brix del jugo debió haber sido 13 °Brix, lo cual no es posible ya que las muestras de jugo obtenidas, fueron medidas en el laboratorio y estaban en 15 °Brix después de haber comenzado la fermentación. Analizando la prueba 1 (tabla 8.2) desde otro punto de vista, con la cantidad de bagazo obtenido, el grado Brix del jugo y el grado de humedad medido en el bagazo da como resultado que la extracción de azúcar está por arriba del 100%; lo que significa obtener más azúcar en el jugo que la cantidad total de carbohidratos contenidos en el maguey, lo cual también es una incongruencia.

La compañía HEYL & PATTERSON ofrece un sistema de inyección de agua o vapor a presión en las zonas de liberación de presión a lo largo de la criba. La prensa con este sistema, se considera que pueda lograr una extracción muy superior, debido a que está comprobado el mejoramiento en la extracción gracias a la imbibición con agua caliente o vapor.

La prensa 10' Renneburg Continuos Screw Press tiene una capacidad de 8.5 ton/hr. Todas las partes de la prensa que están en contacto con el material son hechas de acero inoxidable. El motor es eléctrico de 30 Hp y las revoluciones del tornillo pueden ser controladas por medio del variador de velocidad. La criba es un cilindro con perforaciones y tiene un sistema para la introducción de agua o vapor. El precio de esta prensa es de \$152,000 USD en base a la cotización del día 29 de septiembre de 1993.

6.2 PRUEBA DE EXTRACCIÓN CON LA CÍA. VINCENT CO.

La prueba se llevó a cabo en la prensa de la compañía COSPI & ASSOCIATES (Tampa, Fla. USA), representantes de la empresa VINCENT CO. (USA) fabricantes de prensas de tornillo.

La prensa es del tipo tornillo discontinuo, sin variación en el diámetro del eje, pero con una disminución gradual del paso de la hélice. La criba es un cilindro con perforaciones de 3/32" de diámetro, con barras que mezclan el material e impiden que éste gire junto con el tornillo. Al final de la prensa, la salida del material está controlada por un cono, especialmente diseñado para materiales fibrosos y presurizado neumáticamente. Todas las partes que están en contacto con el material son fabricadas con acero inoxidable.

En la tabla 8.6 se muestra el análisis que se realizó al maguey cocido antes de entrar en la prensa, comparado con el análisis bromatológico que se obtuvo (anexo1):

Tabla 8.6. Análisis del agave cocido antes de la extracción.

	COSPI & ASSOCIATES	ANEXO 1
Humedad	79 %	78 %
Sólidos disueltos	16.8 %	15.7 %
Sólidos suspendidos (fibra)	4.2 %	6.3 %

La tabla 8.7 nos muestra los resultados obtenidos de la extracción del jugo de 100 Kg. de maguey cocido. La alimentación del maguey se realizó en 87 min., después de los cuales, se obtuvo la separación de líquido (jugo) y sólidos (bagazo) como se muestra en la tabla 8.7. Las revoluciones del tornillo se ajustaron a 8 r.p.m.

Tabla 8.7. Resultados de la prueba.

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	° Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendedos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	100	79	79	17.5	16.8	4.2	21.0
Salida:							
Jugo	91.4	82	75.4	17.5	16.0	0.0	16.0
Bagazo	8.6	42	3.6	17.5	0.8	4.2	5.0

De los datos mostrados anteriormente, se puede deducir lo siguiente como comprobación de los datos medidos y como conclusión de la prueba:

$$\text{Humedad del bagazo} = \frac{3.6}{8.6} = 41.9\%$$

$$\text{° Brix} = \frac{16.0}{91.4} = 17.5^\circ$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{16.0}{16.8} = 95.2\%$$

El dato más relevante es la extracción de azúcar o sólidos disueltos por arriba de 95%. Los fabricantes de tequila están continuamente mejorando los trenes de molinos de rodillos que usan para exprimir el agave, con el fin de obtener porcentajes de extracción de sacarosa semejantes a los que se obtienen en la industria azucarera. Para poder tener una idea de la extracción que realizan los molinos de rodillos, se tiene que la extracción de sacarosa promedio en los ingenios de México durante 1992 fue de 91% [34].

Otro aspecto importante es que la humedad del bagazo indica que podría ser factible usarlo como combustible para la caldera de vapor, lo cual representaría un ahorro de combustóleo.

De parte del laboratorio donde corrieron las pruebas, recomendaron desfibrar el material antes de introducirlo en la prensa para tener un mejor desempeño de la misma. El tamaño que recomendaron fue picar el material en trozos de 1/2". También comentaron que una prensa VINCENT Model VP-12 -P13 tendría la capacidad suficiente para procesar 8 toneladas de agave por hora.

El motor eléctrico que utiliza la prensa VINCENT es de 10 HP y el costo de la prensa es de \$ 82,875 USD., en base a la cotización No. 2061-93 del día 17 de Agosto de 1993 de parte de la Cía. COSPI & ASSOCIATES, INC.

La compañía COSPI & ASSOCIATES también ofrece prensas reconstruidas y de segunda mano. En base a la cotización No. 2086-93 ofrecen una prensa de la marca RIETZ, RSP-12-KS, con la misma capacidad de la prensa antes mencionada, con un costo de \$55,000 USD, lo que representa una buena oportunidad de ahorrar en la inversión inicial. La marca Rietz era originalmente la fabricante de prensas de tornillo y dicha marca fue adquirida por la firma Vincent, de ahí la diferencia de marcas aunque las prensas son las mismas.

6.3 PRUEBAS CON LA CÍA. FRENCH OIL MILL MACHINERY CO.

La prueba se llevó a cabo en una prensa de la compañía FRENCH OIL MILL MACHINERY (Piqua, Ohio, USA), fabricantes de prensas de tornillo.

La prensa se compone de dos tornillos colocados en línea e impulsados por un solo motor y una caja de engranes que permite el movimiento de los dos tornillos con diferentes velocidades. La primer zona del tornillo es para realizar un prensado preliminar y una alimentación forzada compactando el material de manera uniforme, para esto el tornillo en esta zona gira a mayores revoluciones que en la siguiente. La segunda zona es de alta presión donde el tornillo gira más lentamente y el tornillo tiene interrupciones cada 350°. En cada interrupción de la hélice del tornillo pasan barras que salen de forma radial de la criba al eje del rodillo y aseguran el mezclado del material. El tornillo está formado por una serie de anillos removibles que pueden ser reemplazados una vez que la hélice se haya desgastado o sufra algún desperfecto.

La criba está formada por una serie de barras sostenidas en anillos y la separación entre las barras puede ser ajustada a las necesidades del producto que se procese. Las barras superior e inferior constan con las salientes radiales al eje que mezclan el material durante su paso por la prensa exponiendo el material hacia la criba.

De manera opcional se puede introducir agua en el eje del tornillo para que éste no se caliente y además sobre la criba se pueden montar inyectores de agua que permiten calentar o enfriar el material en diversas zonas de la prensa.

La salida de la prensa está controlada por un cono impulsado hidráulicamente contra la parte final de la criba. El cono cuenta con perforaciones que obtienen la última

parte de la humedad antes de que el material salga de la prensa, además la presión hidráulica del cono es ajustable.

Se llevaron a cabo dos pruebas con las prensas French Oil Mill Machinery en el laboratorio de la compañía, para lo cual se mandó una tonelada de agave cocido. Antes de la prueba el material pasó por una desfibradora de martillos para que se pudiera alimentar en la prensa. En las tabla 8.8 y 8.9 se muestran el peso del material que se alimentó y lo que se obtuvo por separado después que la prensa extrajo el líquido. Además se muestra después de cada tabla los resultados de la extracción de sacarosa, de humedad final y de grado Brix.

Tabla 8.8. Resultados de la prueba 1.

	Peso Total (lb)	Agua (%)	Peso Agua (lb)	° Brix	Sólidos Disueltos (lb)	Sól. Suspendedos (lb)	Sólidos Totales (lb)
Entrada:							
Magüey	219.0	79	173.01	17.5	36.79	9.20	45.99
Salida:							
Jugo	194.92	82.5	160.73	17.5	34.19	0.0	34.19
Bagazo	24.08	51	12.28	17.5	2.60	9.20	11.80

De los datos mostrados anteriormente, se puede deducir lo siguiente como comprobación de los datos medidos y como conclusión de la prueba:

$$\text{Humedad del bagazo} = \frac{12.28}{24.08} = 51\%$$

$$\text{° Brix} = \frac{34.19}{194.92} = 17.54^\circ$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{34.19}{36.79} = 92.9\%$$

Tabla 8.9. Resultados de la prueba 2.

	Peso Total (lb)	Agua (%)	Peso Agua (lb)	° Brix	Sólidos Disueltos (lb)	Sól. Suspendedos (lb)	Sólidos Totales (lb)
Entrada:							
Magüey	336.7	79	265.99	17.5	56.57	14.14	70.71
Salida:							
Jugo	297.14	82.5	245.03	17.5	52.11	0.0	52.11
Bagazo	39.56	53	20.96	17.5	4.46	14.14	18.60

$$\text{Humedad del bagazo} = \frac{20.96}{39.56} = 53\%$$

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{52.11}{297.14} = 17.54^{\circ}$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{52.11}{56.57} = 92.1\%$$

La extracción de azúcar o sacarosa en ambas pruebas es del 92%. Se considera que influyó bastante para los datos obtenidos de extracción, la forma en que se introdujo el material en la prensa después de haber pasado por la desfibradora de martillos.

La compañía ofrece el sistema de introducción de agua a lo largo de la prensa, lo cual serviría para imbibir el bagazo, diluir el jugo y elevar el grado de extracción de azúcares.

La compañía French recomienda la prensa modelo LP-1890 con capacidad para 8 ton/hr., impulsada por un motor de 50 Hp y 1800 r.p.m. El costo de esta máquina es de 215,000.00 USD, en base a la cotización del día 6 de Diciembre de 1993.

6.4 PRUEBAS CON LA CÍA. AMERICAN SCREW PRESS, INC.

Las prensas de la Cía. American Screw Press constan de un tornillo con hélice continua y con el paso constante. La presión se ejerce con el aumento de diámetro en el núcleo del eje. Al final de la prensa se encuentra un cono para controlar la humedad en el material de descarga. El cono está presurizado con resortes y de forma hidráulica. El motor, reductor y flecha van acoplados en línea recta.

El material se analizó antes de introducirlo en la prensa y se obtuvo un 78% de humedad inicial y 22% de sólidos. Para poder introducir el material en la prensa, antes fue desfibrado en trozos de 3/4" de tamaño. Los resultados obtenidos en la prueba 1 se muestran en la tabla 8.10.

Tabla 8.10. Resultados de la prueba 1.

	Peso Total (Kg)	Agua (%)	Peso Agua (Kg)	°Brix	Sólidos Disueltos (Kg)	Sól. Suspendidos (Kg)	Sólidos Totales (Kg)
Entrada:							
Magüey	100.0	78	78.0	17.5	16.0	6.0	22.0
Salida:							
Jugo	81.6	82.5	67.3	17.5	14.3	0.0	14.3
Bagazo	18.4	58.1	10.7	17.5	1.7	6.0	7.7

$$\text{Humedad del bagazo} = \frac{10.7}{18.4} = 58.1\%$$

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{14.3}{81.6} = 17.5^{\circ}$$

$$\text{Extracción de azúcar} = \frac{14.3}{16.0} = 89.4\%$$

Para reducir la humedad en el bagazo se puede introducir vapor por el interior de la flecha para elevar la temperatura. Durante una segunda prueba así se llevó a cabo y la humedad final fue de 53%. La humedad del bagazo se redujo en 5% en comparación con la prueba anterior. Como no se tomaron datos del peso del jugo obtenido ni del bagazo que salió de la prensa, no se puede realizar el balance pues no se conoce la cantidad de agua evaporada por el calentamiento de la flecha. De cualquier forma, lo importante no es la humedad final sino la cantidad de azúcar extraída en el jugo. En esta prueba los resultados de la extracción no son tan buenos como con las otras compañías de prensas de tornillo.

La compañía American Screw Press cotizó la máquina modelo SNG 350 X 3000L, para una capacidad de 12 ton/hr., impulsada por un motor eléctrico de 20 Hp en un precio de \$ 144,500.00 USD. de acuerdo a la cotización del día 14 de Octubre de 1993.

7. RESULTADOS

Las prensas de tornillo discontinuo obtuvieron mejores resultados que las prensas de tornillo continuo, alcanzando niveles de extracción de azúcar hasta de 95% y de humedad final de 42%, lo que permite usar el bagazo directamente como combustible para la caldera. Por lo regular las prensas de tornillo discontinuo con barras mezcladoras son utilizadas para el prensado de materiales más duros. Por lo tanto la presión que ejercen es mayor que las prensas de tornillo continuo y la cantidad de material que procesan es menor.

Las compañías que ofrecen este tipo de prensas de tornillo son: French Oil Mill Machinery, Anderson International y Vincent en prensas horizontales y Beloit en prensas verticales.

Definitivamente el cambio de la tahona por alguna maquinaria moderna es necesario para obtener niveles satisfactorios en la extracción del azúcar contenido en el agave cocido. Se realizó un análisis del bagazo que se obtiene de la tahona después de la molienda y la extracción de azúcar fue tan sólo del 62.5%. A continuación se muestra como se obtuvo este dato y los análisis bromatológicos correspondientes (anexo 1).

	Magüey antes de extracción	Magüey después de extracción
Humedad	77.65 %	66.62 %
Carbohidratos	15.71 %	17.91 %
Fibra Cruda	3.88 %	11.67 %
Otros	2.76 %	3.8 %

Para conocer la cantidad de carbohidratos que se extrajeron se plantea lo siguiente:

M - masa de maguey antes de la extracción.

m - masa de maguey después de la extracción (bagazo).

X - porcentaje de carbohidratos inicial.

x - porcentaje de carbohidratos final.

Y - porcentaje de fibra inicial.

y - porcentaje de fibra final.

$$\% \text{ de azúcar en el bagazo} = \frac{\text{Cantidad de azúcar final}}{\text{Cantidad de azúcar inicial}}$$

$$\text{Cantidad de azúcar inicial} = (M) \cdot (X)$$

$$\text{Cantidad de azúcar final} = (m) \cdot (x)$$

$$\% \text{ de azúcar en el bagazo} = \frac{(m) \cdot (x)}{(M) \cdot (X)}$$

Existe la condición que la cantidad de fibra inicial y final es igual debido a que no sale nada de fibra con el jugo [49]:

Si $(M) \cdot (Y) = (m) \cdot (y)$ entonces $\frac{m}{M} = \frac{Y}{y}$ y substituyendo (m/M) se

obtiene:

$$\% \text{ de azúcar en el bagazo} = \frac{(Y) \cdot (x)}{(y) \cdot (X)}$$

$$\text{Extracción} = 1 - \% \text{ de azúcar en el bagazo} = 1 - \frac{(Y) \cdot (x)}{(y) \cdot (X)}$$

$$\text{Extracción} = 1 - \frac{(\text{Azúcar final}) \cdot (\text{Fibra inicial})}{(\text{Azúcar inicial}) \cdot (\text{Fibra final})} = 1 - \frac{(17.91) \cdot (3.88)}{(15.71) \cdot (11.67)} = 62.1\%$$

Comparando la extracción de la tahona de 62%, se puede obtener un aumento del **53.2%** con el uso de la prensa de tornillo, alcanzando niveles de extracción hasta de 95%.

Estos datos corresponden a la extracción del azúcar contenido en el maguey, pero ahora se analizará de forma práctica los beneficios que se obtendrían con el uso de las prensas en base a la cantidad de jugo extraído.

Se tomarán como base las moliendas realizadas por medio de la tahona en dos fábricas de mezcal ubicadas en San Luis Potosi y Zacatecas para poder comparar la obtención del jugo con prensas de tornillo.

Fábrica "LA ENCARNACIÓN, S.L.P."

- Molienda de 48 toneladas (aprox.) de maguey el día 5 de Agosto de 1993.

Total de jugo	25,885	lts.
Agua para imbibir el bagazo (promedio)	<u>(1,155)</u>	lts.
Total de jugo obtenido sin diluir	24,730	lts.

El volumen de jugo obtenido a 17 °Brix representa:

$$24,730 \text{ lts.} \cdot 1.13 \text{ kg/dm}^3 = 27,945 \text{ kg.}$$

El rendimiento de jugo fue de 27,945 kg. / 48 ton. = 58.22 %

- Molienda de 48 toneladas (aprox.) de maguey el día 2 de Sept. de 1993.

Total de jugo	24,911	Its.
Agua para imbibir el bagazo (promedio)	<u>(1,155)</u>	Its.
Total de jugo obtenido sin diluir	23,757	Its.

El volumen de jugo obtenido a 17 °Brix representa:

$$23,757 \text{ lts.} * 1.13 \text{ kg/dm}^3 = 26,845 \text{ kg.}$$

El rendimiento de jugo fue de 26,845 kg. / 48 ton. = 55.93 %

Fábrica "LA PENDENCIA, Zac."

- Molienda de 40 toneladas (aprox.) de maguey el día 2 de Sept. de 1993.

Total de jugo	20,547	Its.
Agua para imbibir el bagazo (promedio)	<u>(2,025)</u>	Its.
Total de jugo obtenido sin diluir	18,522	Its.

El volumen de jugo obtenido a 17 °Brix representa:

$$18,522 \text{ lts.} * 1.13 \text{ kg/dm}^3 = 20,930 \text{ kg.}$$

El rendimiento de jugo fue de 20,930 kg. / 40 ton. = 52.33 %

Nota: En el "Total de jugo" no se incluye el guixi de los hornos, o sea es exclusivamente el jugo obtenido de la tahona.

PRUEBAS CON VINCENT, CO.:

- Prensado de 100 kg. de maguey cocido.

Total de jugo	91.4	lbs.
Agua de imbibición	0	lbs.
Total de jugo obtenido sin diluir	<u>91.4</u>	lbs.

El rendimiento de extracción de jugo fue de 91.4 kg. / 100 kg. = 91.4 %

La extracción de sacarosa fue de 95.2 %.

PRUEBAS CON FRENCH OIL MILL MACHINERY, CO.:

- Prueba 1. Prensado de 219 lbs. de maguey cocido.

Total de jugo	194.92	lbs.
Agua de imbibición	0	lbs.
Total de jugo obtenido sin diluir	<u>194.92</u>	lbs.

El rendimiento de extracción de jugo fue de 194.92 lbs. / 219.0 lbs. = 89.0 %

La extracción de sacarosa fue de 92.9 %.

- Prueba 2. Prensado de 336.7 lbs. de maguey cocido.

Total de jugo	297.14	lbs.
Agua de imbibición	0	lbs.
Total de jugo obtenido sin diluir	<u>297.14</u>	lbs.

El rendimiento de extracción de jugo fue de 297.14 lbs. / 336.7 lbs. = 88.25 %

La extracción de sacarosa fue de 92.1%.

El promedio de jugo extraído en las fábricas es del 55.5 %.

El promedio de jugo extraído en las prensas es de 89.5 %.

Realizando la extracción por medio de una prensa de tornillo se puede obtener **61.3 %** más jugo, en comparación con la cantidad de jugo que se extrae con la tahona.

Partiendo de la misma cantidad de materia prima la producción de jugo, usando la prensa de tornillo, se aumenta en 61.3 %, lo que representa un incremento en la cantidad de mezcal de:

Fábrica "La Encarnación, S.L.P."

Molienda actual con tahona:

1,000 kg. * 55.5% extracción de jugo sin diluir a 17 °Brix = 555 kg. / 1.13 kg/dm³ = 491.2 lts. * 141.7% de dilución del jugo a 12 °Brix = 696 lts. * 9.1% de la transformación de la fermentación y recuperación del alambique = 63.3 lt. de mezcal a 45 °G.L.

Molienda propuesta con prensa de tornillo:

1,000 kg. * 89.5% extracción de jugo sin diluir a 17 °Brix = 895 kg. / 1.13 kg/dm³ = 792 lts. * 141.7% de dilución del jugo a 12 °Brix = 1,122.3 lts. * 9.1% de la transformación de la fermentación y recuperación del alambique = 102.1 lt. de mezcal a 45 °G.L.

Nota: El jugo a 17 °Brix tiene una densidad de 1.13 kg/dm³ [50]

Dependerá de la cantidad de maguey que se procese mensualmente y del precio de un litro de mezcal para poder obtener el tiempo de recuperación de la inversión. Pero el aumento en la cantidad de mezcal producido partiendo de la misma cantidad de materia prima es igualmente de 61.3%.

Como referencia se tiene que en la fábrica "La Encarnación, S.L.P.", una fábrica pequeña [14, 16, 19, 20], se procesan 576 toneladas de maguey al mes, de los cuales se obtienen 36,461 litros de mezcal. Al implementar la prensa de tornillo se tendrá un aumento en la producción de mezcal de 61.3% alcanzando el nivel de 58,811 litros mensuales. El diferencial en producción es de 22,350 litros y suponiendo un precio de N\$5.00 nuevos pesos por litro de mezcal, se obtienen ingresos extra de N\$ 111,750 nuevos pesos por mes. Las necesidades de molienda de la fábrica son de 5 ton/hr y en la tabla 10.1 se muestran algunos precios de prensas de tornillo con capacidad sobrada.

El costo de producción correspondiente al proceso de molienda se reducirá considerablemente, pues el uso de maquinaria elimina la gran cantidad de mano de obra que requiere el proceso de molienda con tahona y suprime el uso del tractor y el consumo de gasolina. Por otra parte, los gastos ocasionados por el uso de la prensa serían la energía eléctrica y el mantenimiento de la misma. En base a la experiencia de las compañías que utilizan este tipo de prensas en otras aplicaciones, el mantenimiento necesario para el buen desempeño de las prensas es mínimo. El personal que sea desplazado de su puesto de trabajo puede ser reubicado en labores del cultivo del agave.

Las ventajas y desventajas que se observan en el uso de prensas de tornillo en comparación con los trenes de molinos de rodillos son las siguientes:

a) Los niveles de extracción de azúcar y de rendimiento de jugo son muy similares: 91% fue el promedio de extracción de sacarosa en los ingenios azucareros a nivel nacional durante 1992 [34]. En las destilerías de tequila se ha visto que los resultados no son tan buenos como en los ingenios, debido a que en algunas ocasiones se recircula el bagazo de forma manual para alargar el tren de molinos y en otros casos se pretende usar equipos adicionales, como alimentadores forzados y sistemas de imbibición compuesta, para alcanzar los niveles de extracción de los ingenios.

b) Los molinos de los trenes de las compañías tequileras que se visitaron son muy similares, pero algunas contaban con 3, 4 o hasta 5 molinos. Las mazas de los trapiches varían algunas pulgadas (15" a 20" de diámetro y de 20" a 25" de longitud) y las capacidad van desde 6 hasta 13 ton/hora.

El costo de un tren de trapiches en una tequilera en Atotonilco, Jal. fue de N\$800,000 nuevos pesos en total, incluyendo la instalación, cimientos, molinos, transmisión y motores. El tren consta de 4 molinos con un costo de N\$ 120,000 nuevos pesos cada uno, una transmisión de engranes y 2 motores de 40 Hp que impulsan los 4 molinos. La capacidad nominal del tren de molinos es de 6 ton/hr, pero en la práctica sólo procesa 4 ton/hr. Anualmente se da mantenimiento a los molinos, debido a que a lo largo del año el rendimiento de la extracción se afecta bastante y en ocasiones baja hasta 80%. El costo anual del mantenimiento es de N\$ 47,500 nuevos pesos por molino para que el tren trabaje adecuadamente.

En otra tequilera situada en Arandas, Jal. se observó un tren de 4 molinos donde cada molino estaba impulsado por un motor de 15 Hp. El costo de un molino exclusivamente en este caso fue de N\$ 142,000 nuevos pesos sin considerar motores, cimientos, instalación, etc. La capacidad nominal de este tren de trapichess es de 13 ton/hr.

Con una compañía fabricante de molinos se obtuvo una cotización de un molino con capacidad para 11 ton/hr con un costo de N\$ 142,000 nuevos pesos. El precio incluye la transmisión pero no incluye el motor, el cual recomiendan que sea de 50 Hp y que tiene un costo aproximado de N\$ 8,000 nuevos pesos. La inversión necesaria para el equipo de extracción dependerá del número de molinos que se requieran en el tren.

Otra tequilera en Arandas, Jal. adquirió 5 molinos con una inversión de N\$750,000 nuevos pesos, que incluye sólo los molinos y los motores de 50 Hp correspondientes.

En la tabla 10.1 se muestran los precios, capacidades y potencia instalada de algunas prensas de tornillo:

Tabla 10.1.

MARCA	PRECIO (nuevos pesos)	CAPACIDAD (ton/hr)	MOTOR (Hp)
VINCENT, CO. (nueva)	N\$ 273,500	8	10
VINCENT, CO. (semi-nueva)	N\$ 181,500	8	10
FRENCH OIL MILL MACHINERY	N\$ 709,500	8	50
HEYL & PATTERSON, INC.	N\$ 501,600	8.5	30
AMERICAN SCREW PRESS, INC.	N\$ 476,850	12	20

c) Durante el trabajo de una prensa de tornillo se puede variar la velocidad de giro de la flecha de manera mecánica o hidráulica debido a que la mayoría de las prensas de tornillo cuentan con un variador de velocidad en la transmisión; de igual forma la presión de salida se puede variar con un cono presurizado o por un obturador, lo que permite cambiar los parámetros de trabajo de forma muy simple y durante el funcionamiento de la prensa. Lo anterior muestra la versatilidad de la prensa para adecuarse a los requerimientos de la fábrica y a las necesidades del material que se procesa.

En las transmisiones de los molinos nunca se han encontrado variadores de velocidad y por lo tanto, en los molinos con motores eléctricos y transmisiones mecánicas es casi imposible cambiar las revoluciones de giro de los rodillos; a menos que se modifique la frecuencia del motor eléctrico, con lo cual el rango de variación de velocidad es muy pequeño. Cuando los molinos son impulsados por turbinas de vapor, se puede variar la velocidad de giro de las mazas, pero también dentro de un rango muy pequeño. Lo anterior muestra que no es tan simple variar la capacidad de los molinos y el tiempo de retención bajo presión como sucede con las prensas de tornillo. La presión en los molinos se puede cambiar variando la abertura entre los rodillos. En los molinos de las destilerías de tequila se ha observado que los trapiches no cuentan con acumuladores de presión, por lo que es necesario ajustar los resortes que ejercen la presión sobre el rodillo superior, esta operación es un poco complicada pues el modificar la presión representa ajustar la presión en todos los demás trapiches del tren para que trabajen de forma balanceada. En resumen se puede mencionar que el cambio de los parámetros de trabajo en un tren de trapiches no es una operación simple.

d) El costo de mantenimiento de una prensa de tornillo es mínimo, en la mayoría de los casos, las reparaciones que se realizan es debido a la introducción de algún objeto extraño dentro de la prensa y no es necesario reparaciones frecuentes de mantenimiento para el

c) Durante el trabajo de una prensa de tornillo se puede variar la velocidad de giro de la flecha de manera mecánica o hidráulica debido a que la mayoría de las prensas de tornillo cuentan con un variador de velocidad en la transmisión; de igual forma la presión de salida se puede variar con un cono presurizado o por un obturador, lo que permite cambiar los parámetros de trabajo de forma muy simple y durante el funcionamiento de la prensa. Lo anterior muestra la versatilidad de la prensa para adecuarse a los requerimientos de la fábrica y a las necesidades del material que se procesa.

En las transmisiones de los molinos nunca se han encontrado variadores de velocidad y por lo tanto, en los molinos con motores eléctricos y transmisiones mecánicas es casi imposible cambiar las revoluciones de giro de los rodillos; a menos que se modifique la frecuencia del motor eléctrico, con lo cual el rango de variación de velocidad es muy pequeño. Cuando los molinos son impulsados por turbinas de vapor, se puede variar la velocidad de giro de las mazas, pero también dentro de un rango muy pequeño. Lo anterior muestra que no es tan simple variar la capacidad de los molinos y el tiempo de retención bajo presión como sucede con las prensas de tornillo. La presión en los molinos se puede cambiar variando la abertura entre los rodillos. En los molinos de las destilerías de tequila se ha observado que los trapiches no cuentan con acumuladores de presión, por lo que es necesario ajustar los resortes que ejercen la presión sobre el rodillo superior, esta operación es un poco complicada pues el modificar la presión representa ajustar la presión en todos los demás trapiches del tren para que trabajen de forma balanceada. En resumen se puede mencionar que el cambio de los parámetros de trabajo en un tren de trapiches no es una operación simple.

d) El costo de mantenimiento de una prensa de tornillo es mínimo, en la mayoría de los casos, las reparaciones que se realizan es debido a la introducción de algún objeto extraño dentro de la prensa y no es necesario reparaciones frecuentes de mantenimiento para el

h) El inconveniente que se observa en el uso de la prensa de tornillo en comparación con los molinos de rodillos es en el caso de una descompostura. Si un molino falla el material puede saltar el molino descompuesto y pasar a través de los que están funcionando. El grado de extracción se reducirá pero sin embargo no se detiene la producción; en la práctica se llama hacer un "bypass". En cambio, si la prensa falla se detiene por completo la producción hasta que sea reparada. Para evitar esto, es conveniente tener dos prensas con capacidad mediana trabajando en paralelo en lugar de una prensa grande.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar el análisis económico se tomará como base una fábrica que produce mezcal en San Luis Potosí que utiliza la tahona para realizar la molienda. Para dicha fábrica se propondrán dos proyectos de inversión: el primero es invertir en un tren de molinos de rodillos como los que se utilizan en la industria tequilera y el segundo es invertir en una prensa de tornillo para realizar la extracción del jugo del agave. De ambos proyectos se obtendrá la TIR y se comparará con la TREMA (Tasa de Recuperación Mínima Atractiva) para ver si es conveniente invertir en maquinaria moderna para la extracción, además, si resulta conveniente comprar maquinaria moderna, de manera inmediata se podrá conocer cuál de los dos proyectos es más conveniente.

La fábrica realiza la molienda de la manera tradicional por medio de la tahona. Los costos en que se incurren con este tipo de molienda son: principalmente la excesiva cantidad de mano de obra y la gasolina y aceite consumidos por el tractor que se encarga de hacer rodar la piedra. Actualmente se encontraron 21 personas trabajando durante la molienda en la siguiente forma: 10 molineros acomodan el agave cocido bajo la rodada de la piedra utilizando bieldos dentro de la tahona, 2 molineros parten con achas el agave que se recibe en la tahona, 4 peones acarrear con carretillas el agave cocido de los hornos hacia las tahonas, 4 faineros extraen el agave cocido de los hornos y 1 tractorista conduce el tractor. Todas las personas involucradas en la molienda reciben el mismo sueldo exceptuando el tractorista. El salario general es de N\$ 98.00 nuevos pesos por semana y el tractorista recibe N\$120.00 pesos por semana. Lo anterior significa un costo de mano de obra de:

20 personas x 98 pesos / semana x 52 semanas / año = N\$ 101,920 nuevos pesos al año.

1 persona x 120 pesos / semana x 52 semanas / año = N\$ 6,240 nuevos pesos al año.

El costo anual correspondiente a mano de obra es de N\$ 108,160 nuevos pesos.

El tractor requiere de aproximadamente N\$ 1,000 nuevos pesos semanales para gasolina y aceite debido a que es un tractor grande y muy viejo.

El costo anual correspondiente a gasolina y aceite es de N\$ 52,000 nuevos pesos.

En total se tiene un costo de producción con respecto a la molienda de N\$ 160,160 nuevos pesos.

Al implementar un nuevo método de extracción del jugo de agave, no se incurre más en estos gastos y por lo tanto son un ahorro para la fábrica; por lo tanto, es necesario considerarlos como parte de los ingresos anuales de los proyectos de inversión.

Con el uso de maquinaria moderna para realizar la extracción del jugo de agave el costo de producción correspondiente a la molienda estará integrado por: la mano de obra, el consumo de energía eléctrica y el mantenimiento del equipo.

PROYECTO 1

En el proyecto 1 se pretende conseguir un tren de 5 molinos con una capacidad para procesar 6 toneladas por hora de agave cocido. El costo de dicho tren es de N\$200,000 nuevos pesos por molino lo cual incluye: N\$ 120,000 del costo de la maquinaria y la transmisión y N\$ 80,000 para el motor de 20 Hp, las instalaciones y las cimentaciones necesarias para el funcionamiento del molino. Por lo tanto el costo total es de N\$ 1'000,000 de nuevos pesos y se espera una extracción cercana al 90 % como sucede con la caña de azúcar y como se ha rectificado en las fábricas tequileras.

Para el proyecto 1 se tienen los siguientes gastos estimados en base a experiencias de fabricantes de tequila en la región de Atotonilco, Jal.:

a) Mano de Obra:

- 3 faineros para sacar el agave del horno y colocarlo en las bandas alimentadoras del tren de molinos.
- 1 supervisor del buen funcionamiento del equipo y para evitar atascamientos del mismo.

3 faineros x 98 pesos / semana x 52 semanas / año = N\$ 15,288 nuevos pesos al año.

1 encargados x 120 pesos / semana x 52 semanas / año = N\$ 6,240 nuevos pesos al año.

En total de mano de obra se tiene un costo estimado de N\$ 21,528 nuevos pesos al año.

b) Consumo de energía eléctrica:

Se tiene estimado un costo de energía eléctrica de N\$ 0.1356 nuevos pesos por kilowatt por hora (kwh) consumido.

La capacidad de cocimiento de agave es de 144 ton. por semana y el tren tiene una capacidad de procesamiento de 6 ton. por hora, lo que conduce a una utilización del equipo de:

$$\frac{144 \text{ ton.}}{6 \text{ ton./hr.}} = 24 \text{ horas / semana} \times 52 \text{ semanas / año} = 1,248 \text{ horas / año}$$

$$20 \text{ Hp} \times 5 \text{ motores} = 100 \text{ Hp} \times 746 \text{ watts/ Hp} = 74,600 \text{ watts} = 74.6 \text{ kwatts}$$

$$1,248 \text{ horas} \times 74.6 \text{ kwatts} = 93,100.8 \text{ kwh}$$

$93,100.8 \text{ kwh} \times 0.1356 \text{ n. pesos por kwh} = 12,624.5 \text{ nuevos pesos al año.}$

c) Mantenimiento:

Debido a la abrasión que se produce en los rodillos del molino por el paso de la fibra, los rodillos deben ser renovados continuamente. El mantenimiento puede ser el cambio del rodillo completo o el cambio de la camisa del rodillo solamente, donde la última opción es la más económica. En base a una experiencia de un fabricante de tequila, el costo del mantenimiento es de aproximadamente N\$ 47,500 nuevos pesos por molino al año. En caso de no realizar el mantenimiento anualmente, al cabo de 2 años el rendimiento de extracción puede disminuirse hasta niveles del 80%.

El costo de mantenimiento anual para un tren de 5 molinos para que funcione correctamente será de:

$47,500 \text{ n.p.} \times 5 \text{ molinos} = 237,500 \text{ nuevos pesos al año.}$

PROYECTO 2

En el proyecto 2 se contempla la adquisición de una prensa de tornillo de la marca Vincent con un costo de N\$ 273,500 nuevos pesos más un 20% de costo de fletes y aduanas. La prensa tiene una capacidad de 8 toneladas de agave cocido y una eficiencia de extracción cercana al 95% en base a las pruebas realizadas. La prensa incluye un motor de 10 Hp necesario para su funcionamiento.

Para el proyecto 2 se consideran los siguientes gastos estimados en el funcionamiento de una prensa de tornillo en la extracción de grasa de carne de cerdo.

a) Mano de obra:

Se estima que la cantidad de personas necesarias serían las mismas para ambos proyectos, lo cual no es un factor comparativo entre proyectos pero es necesario para analizar la viabilidad del proyecto en comparación con las condiciones actuales.

El costo total de mano de obra se estima en N\$ 21,528 nuevos pesos al año.

b) Consumo de energía eléctrica:

La capacidad de la prensa de tornillo es de 8 toneladas de agave cocido por hora utilizando un motor de 10 Hp.

$$\frac{144 \text{ ton.}}{8 \text{ ton./hr.}} = 18 \text{ horas / semana} \times 52 \text{ semanas / año} = 936 \text{ horas / año}$$

$$10 \text{ Hp} \times 746 \text{ watts/HP} = 7,460 \text{ watts} = 7.46 \text{ kwatts}$$

$$936 \text{ horas} \times 7.46 \text{ kwatts} = 6,982.5 \text{ kwh}$$

$$6,982.5 \text{ kwh} \times 0.1356 \text{ n. pesos por kwh} = 946.8 \text{ nuevos pesos al año.}$$

c) Mantenimiento:

En base a los comentarios realizados en una empresa donde utilizaban una prensa de tornillo para la extracción de grasa de cerdo de los residuos de carne, las prensas de tornillo no requieren mantenimiento para su buen funcionamiento, sólo es necesario hacer reparaciones en caso de que un elemento extraño entre en la prensa. La prensa que se observó tenía más de 10 años trabajando y el rendimiento de la misma ha sido el mismo durante todos los años.

Se va a suponer que mantenimiento pueda ser del 20% anual del costo de la prensa debido a la abrasividad de la fibra del agave.

El costo anual del mantenimiento sería de:

$$\text{N\$ } 273,500 \times 20\% = \text{N\$ } 54,700 \text{ nuevos pesos al año}$$

OBTENCION DE LA TIR

Para poder obtener la TIR es necesario obtener: la inversión inicial, los ingresos netos anuales y el valor de recuperación de cada proyecto. Para poder obtener los ingresos netos es necesario conocer la producción actual:

$$144 \text{ ton / semana} \times 52 \text{ semanas} = 7,488 \text{ ton / año.}$$

$7,488 \text{ ton} \times 55.5\% = 4'155,840 \text{ kg. de jugo sin diluir a } 17^\circ \text{Brix} + 1.13 \text{ kg/dm}^3 = 3'677,735 \text{ litros de jugo} \times 141.7\% \text{ de dilución a } 12^\circ \text{Brix} = 5'211,350 \text{ litros} \times 9.1\% \text{ de rendimiento de fermentación y recuperación del alambique} = 474,233 \text{ litros de mezcal.}$

El mezcal tiene en promedio un precio de N\$ 5.00 nuevos pesos por litro.

Proyecto 1:

a) Inversión inicial = N\$ 1'0000,000 nuevos pesos

b) Ingresos netos anuales:

Producción: Si 93.4% de extracción de sacarosa significa obtener 89.5% del peso del agave en jugo entonces con el 91% de extracción de sacarosa (promedio en los ingenios de México durante 1992) se obtendría 87.2 % de jugo con respecto al peso del agave.

7,488 ton x 87.2 % = 6'529,536 kg. de jugo sin diluir a 17 °Brix + 1.13 kg/dm³ = 5'778,350 litros de jugo x 141.7% de dilución a 12 °Brix = 8'187,923 litros x 9.1% de rendimiento de fermentación y recuperación del alambique = 745,101 litros de mezcal.

El aumento en producción de mezcal utilizando maquinaria moderna del proyecto 1 durante el proceso de extracción da como resultado 745,101 - 474,233 = 270,868 litros de mezcal extras.

Los ingresos extras serán de: 270,868 x 5 = 1'354,340 nuevos pesos al año.

	Haber	Debe
Ingresos extras	1'354,340	
Gastos de mano de obra		21,528
Consumo de energía eléctrica		12,624.5
Mantenimiento		237,500
Ahorro de mano de obra	108,160	
Ahorro en combustibles	52,000	
	<u>1'514,500</u>	<u>271,652.5</u>

Total de Ingresos Netos Anuales

1'242,847.5

c) La vida útil de este tipo de maquinaria según el Impuesto Sobre la Renta es de 20 años y se estima que se puede obtener una recuperación de la inversión cercana al 20% de la inversión inicial.

Valor de recuperación = 1'000,000 x 20% = 200,000 nuevos pesos.

Con la información anterior se puede obtener la TIR con la siguiente ecuación:

$$-1'000,000 + 1'242,847.5 (P/A, i, 20) + 200,000 (P/F, i, 20) = 0$$

La fórmula anterior se traduce como:

$$-1'000,000 + (1'242,847.5) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + (200,000) \frac{1}{(1+i)^n} = 0$$

Por tanteos se obtiene el valor de "i" que satisface la ecuación anterior y dicho interés corresponde a la Tasa Interna de Rendimiento, que en este caso es de = 124.285 %

Proyecto 2:

a) Inversión inicial = N\$ 273,500 nuevos pesos

b) Ingresos netos anuales:

Producción: El 93.4% de extracción de sacarosa significa obtener 89.5% del peso del agave en jugo.

7,488 ton x 89.5 % = 6'701,760 kg. de jugo sin diluir a 17 °Brix ÷ 1.13 kg/dm³ = 5'930,761 litros de jugo x 141.7% de dilución a 12 °Brix = 8'403,888 litros x 9.1% de rendimiento de fermentación y recuperación del alambique = 764,754 litros de mezcal.

El aumento en producción de mezcal utilizando maquinaria moderna del proyecto I durante el proceso de extracción da como resultado 764,754 - 474,233 = 290,521 litros de mezcal extras.

Los ingresos extras serán de: 290,521 x 5 = 1'452,605 nuevos pesos al año.

	Haber	Debe
Ingresos extras	1'452,605	
Gastos de mano de obra		21,528
Consumo de energía eléctrica		946.8
Mantenimiento		54,700
Ahorro de mano de obra	108,160	
Ahorro en combustibles	52,000	
	<u>1'612,765</u>	<u>77,174.8</u>

Total de Ingresos Netos Anuales 1'535,590.2

c) La vida útil de este tipo de maquinaria según el Impuesto Sobre la Renta es de 20 años y se estima que se puede obtener una recuperación de la inversión cercana al 20% de la inversión inicial.

$$\text{Valor de recuperación} = 273,500 \times 20\% = 54,700 \text{ nuevos pesos.}$$

Con la información anterior se puede obtener la TIR con la siguiente ecuación:

$$-273,500 + 1'535,590.2 (P/A, i, 20) + 54,700 (P/F, i, 20) = 0$$

La fórmula anterior se traduce como:

$$-273,500 + (1'535,590.2) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + (54,700) \frac{1}{(1+i)^n} = 0$$

Por tanteos se obtiene el valor de "i" que satisface la ecuación anterior y dicho interés corresponde a la Tasa Interna de Rendimiento, que en este caso es de = 561.459 %

CONCLUSIONES:

En ambos proyectos la Tasa Interna de Rendimiento es muy atractiva considerando que el valor de la TREMA por lo regular se basa en el interés bancario o en el interés de los CETES más un interés que la compañía considere atractivo para invertir en el proyecto en lugar de invertir de manera totalmente segura en el banco o en CETES. El valor de la TREMA por lo general se puede encontrar alrededor del 20 %.

Comparando los dos proyectos de inversión se puede observar una notoria ventaja al invertir en una prensa de tornillo en lugar de un tren de molinos para realizar la extracción del jugo del agave.

Claramente se puede ver que el costo de la máquina es mínimo en comparación con los ingresos netos que se pueden obtener anualmente al implementar la maquinaria. Al mismo tiempo se reducen los gastos de mano de obra y de insumos necesarios para el proceso de extracción. Por lo tanto y como se observa con la atractiva Tasa Interna de Rendimiento, lo más conveniente para esta fábrica sería la implementación de maquinaria moderna y de forma particular, la utilización de una prensa de tornillo en la etapa de extracción del jugo de agave.

CONCLUSIONES

Las prensas de tornillo permiten obtener una extracción de azúcar igual o aún mayor que un tren de trapiches. Si se compara la utilización de un tren de trapiches, en la extracción del jugo del agave, las prensas de tornillo son una opción muy atractiva para reducir: la inversión inicial, la potencia instalada, los gastos de mantenimiento, el espacio ocupado y el costo de las cimentaciones; además, las prensas de tornillo brindan la posibilidad de cambiar, fácilmente y durante el proceso, los parámetros de trabajo a fin de obtener los mejores niveles de extracción de sacarosa y satisfacer las necesidades de producción de la fábrica.

Si se compara la extracción efectuada por medio de la tahona, la mecanización del proceso con prensa de tornillo ofrece un aumento en la extracción del 52.3%. El uso de maquinaria reduce la excesiva mano de obra y, por lo tanto, el costo de producción del proceso. El tiempo de recuperación de la inversión de un equipo de prensa de tornillo puede ser de un par de meses, por lo cual el cambio de la tahona por la prensa de tornillo está bien justificado.

Una prensa de tornillo que procesa 8 ton. de agave por hora, satisface los requerimientos de una destilería con capacidad de 10,000 lt. de licor en 8 hrs. El costo de esta prensa de tornillo se encuentra entre el 30 y 53% del costo de un tren de 6 trapiches, con el cual se tendría una capacidad y niveles de extracción similares. Se pueden encontrar prensas de tornillo con capacidad para procesar hasta 30 ton. de agave por hora; esta capacidad cumple con los requerimientos de extracción de las destilerías de tequila más grandes de México.

Se puede mencionar que el agave cocido y desfibrado es un material excepcional para la extracción del jugo por medio de prensas de tornillo. Como se comprobó en alguna de las pruebas y como recomendaron los mismos fabricantes de prensas de tornillo al correr las pruebas, es necesario hacer una buena preparación del agave por medio de una desfibradora para poder realizar la alimentación de manera continua y obtener los mejores resultados de las prensas de tornillo.

Considerando lo expuesto anteriormente, las prensas de tornillo pueden revolucionar la industria del tequila y del mezcal, cambiando por completo los métodos y equipos utilizados en la actualidad para la extracción del jugo del agave. Con el uso de las prensas de tornillo se consigue que el proceso de extracción sea más eficiente y con menores costos de producción, de esta forma las industrias pueden alcanzar ventajas competitivas importantes dentro de los mercados nacionales y de exportación del tequila y el mezcal.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- 1) Conrad J. Bahre y David E. Bradbury. MANUFACTURE OF MEZCAL IN SONORA, MÉXICO.
- 2) J.Jesús Tello Balderas y Edmundo García Moya. THE MEZCAL INDUSTRY IN THE ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO OF NORTH-CENTRAL MEXICO. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas del Colegio de Postgraduados Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.
- 3) Ana Guadalupe Valenzuela Zapata. THE TEQUILA INDUSTRY IN JALISCO, MEXICO. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
- 4) Rodríguez Marentes J. PROYECTO PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA PROCESADORA DE AGUARDIENTE DE AGAVE (TEQUILA). Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1980.
- 5) González González V. M. DESARROLLO PRÁCTICO DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA ELABORACIÓN DE TEQUILA COMERCIAL. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guadalajara. 1987.
- 6) Martínez Morales R. DINÁMICA POBLACIONAL DE LAS MAGUEYERAS SILVESTRES EN EL ALTIPLANO POTOSINO- ZACATECANO. Tesis de postgrado. Institución de Enseñanza e Investigación de Ciencias Agrícolas. Centro de Botánica. Chapingo, México. 1988.
- 7) Villalvazo Rosales, A. S.EL CULTIVO DEL MEZCAL (AGAVE TEQUILANA) EN LA REGIÓN DE TEQUILA, JALISCO. Tesis de licenciatura. Univ. Autónoma de Chapingo. 1986.
- 8) Visita a las fábricas de mezcal "La Encarnación" en Santa Teresa, S.L.P. y "La Pendencia" en La Pendencia, Zac.

- 9) Diego Nava Fidel y Rodríguez Ramírez Juan. SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA MEZCALERA EN OAXACA. IPN - CIIDIR - Oaxaca.
- 10) Conversación personal con el Sr. Fidel Diego Nava. IPN - CIIDIR - Oaxaca.
- 11) Dewey, L. H. FIBRAS VEGETALES Y SU PRODUCCIÓN EN AMÉRICA. Oficina de Cooperación Agrícola. Unión Panamericana. Washington, D.C. 1941.
- 12) González Aguirre J. ANTEPROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE UNA FABRICA PROCESADORA DE TEQUILA. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1988.
- 13) Hernández Saldívar J. C. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPO PARA LA INSTALACIÓN DE UNA FABRICA TEQUILERA CON CAPACIDAD DE 10.000 LTS / DÍA. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1990.
- 14) Visita a la fábrica de tequila "La Alteña" en Arandas, Jal.
- 15) Pla, Rosa y Tapia, Jesús. AGAVE AZUL DE LAS MIELES AL TEQUILA. Coedición del Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos y el Instituto Francés de América Latina. México. 1990.
- 16) Visita a la fábrica de tequila "Tres Magueyes" en Atotonilco, Jal.
- 17) Aldama Durán F. J. DISEÑO Y CÁLCULO DEL EQUIPO PARA LA DESTILACIÓN DE UNA INDUSTRIA TEQUILERA CON CAPACIDAD DE 4.000 LTS. DIARIOS. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1984.
- 18) Vázquez Villarruel S. CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECANICO NECESARIO EN UNA PLANTA DESTILADORA DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL MAGUEY. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1986.
- 19) Visita a la fábrica de tequila "Cazadores" en Arandas, Jal.
- 20) Visita a la fábrica de "Tequila Sauza" en Tequila, Jal.

- 21) Potter Norman N. FERMENTACIÓN DE ALIMENTOS. Ciencia de los Alimentos. EDUTEX S. A. Capítulo 12, Fermentación de los Alimentos. 1973.
- 22) INGENIERÍA DE PROCESOS Y LOS APARATOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA (en polaco). Varsovia, Polonia 1982.
- 23) Folletos. CP MOD 36 PRESSING MODULE y SQUEEZE BOX SX360 JUICE EXTRACTION PRESS. Goodnature Products, Inc. U.S.A.
- 24) Hans J. Bielig. FAO, AGRICULTURAL SERVICE BULLETIN. FRUIT JUICE PROCESSING. Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome, 1993.
- 25) Folleto. MECHANICAL DEWATERING PRESS. Davenport Machine. U.S.A.
- 26) Folleto. SERIES BELT FILTER PRESS. Klein American, Inc. U.S.A.
- 27) Folleto. KLAMPRESS, BELT FILTER PRESS, TECHNICAL INFORMATION. Ashbrook-Simon-Hartley.
- 28) Folleto. CENTRIFUGAL FOOD DRYING. Bock Engineered Products, Inc. U.S.A.
- 29) E. Hugot. MANUAL PARA INGENIEROS AZUCAREROS. Ed. Continental S.A de C.V. México D.F.
- 30) K.S.G. Doss. STEAM AIDED IMBIBITION. A new process for reducing pol and moisture in bagasse.
- 31) Dean K. Bredeson. MECHANICAL PRESSING. The French Oil Machinery Co.
- 32) Dean K. Bredeson. MECHANICAL EXTRACTION. The French Oil Machinery Co.
- 33) J.G. Thieme. LA INDUSTRIA DEL COCO. FAO. Cuadernos de Fomento Agropecuario, Roma. 1970.
- 34) MANUAL AZUCARERO MAXICANO 1992.
- 35) Folleto. TWIN MOTOR SUPER DUO EXPELLER PRESSES. Anderson International Co. U.S.A.

- 36) Folleto. **JL-88 PULP PRESS FOR HIGH PRESSURE DEWATERING OF FIBROUS MATERIALS.** The French Oil Mill Machinery Co. U.S.A.
- 37) Folleto. **A MULTI-STAGE MECHANICAL PROCESSOR TO REMOVE EXCESS WATER, OILS, OTHER LIQUIDS.** Heyl & Patterson, Inc. U.S.A.
- 38) Folleto. **PUSHER SCREW PRESS.** William. R. Perrin, Inc. Canada.
- 39) Folleto. **CONICAL SCREW PRESS, EXTRACTORS.** Brown International Co. U.S.A.
- 40) Folleto. **JUICE EXTRACTOR 35, SCREW STYLE.** FMC Co. Food Processing Systems Division. U.S.A.
- 41) Folleto. **TECHNICAL SPECIFICATIONS SCREW PRESS & ACCESSORIES.** American Screw Press, Inc. U.S.A.
- 42) Folleto. **HORIZONTAL SCREW PRESS.** Vincent Co. U.S.A.
- 43) Folleto. **BELOIT JONES HORIZONTAL & VERTICAL PRESSMASTER PRESS.** Beloit Co. U.S.A.
- 44) **SPLIT WORM FOR SCREW PRESS.** United States Patent No. 3'980,013. Sept. 14, 1976. The French Oil Mill Machinery.
- 45) Folleto. **PROCESS EQUIPMENT AND SEPARATION SYSTEMS.** The Dupps Company. U.S.A.
- 46) Folleto. **DEWATERING SCREW PRESS (VETTER).** Dedert. Co. U.S.A.
- 47) Folleto. **SCREW FEEDER.** Sunds Defibrator AB. Sweden.
- 48) **Comunicación personal con Jhon L. Dillon de la compañía The French Oil Mill Machinery Co. Fibers Machinery Division.**
- 49) **Gordon Smart. REPLACEMENT OF MILLS BY SCREW PRESSES IN THE CANE SUGAR INDUSTRY. S. A.R.C.S.T., A.R.I.C.**
- 50) **Ontiveros Aldana R. PROYECTO DE CÁLCULO DE INSTALACIÓN MECÁNICA ELÉCTRICA DE UNA FABRICA DE TEQUILA DE**

PRODUCCIÓN DE 5.000 LTS / 16 HRS. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guadalajara. 1984.

- 51) **Coss Bu Raúl. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.** Ed. Noriega Limusa. 1986.

ANEXO 1



Centro de Control Total de Calidades del Bajío, S.A. de C.V.

Alimentos • Bebidas • Medicamentos • Cosméticos • Agroindustria • Desarrollo de Productos • Industria Química en General

Priv. Conin No. 1
Tel./Fax. (42) 16-75-62
C.P. 76000
Querétaro, Qro.

REF: 0437-93
O.T. 2491
MAYO 14, 1993.

CENTRO DE INVESTIGACION Y ASISTENCIA TECNICA DEL ESTADO DE QUERETARO AV. DEL RETABLO 150 QUERETARO, QRO.

MUY SEÑORES NUESTROS:

A CONTINUACION SE SERVIRAN
ENCONTRAR LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EFECTUADO A
UNA MUESTRA ENVIADA POR UDS. A ESTE CENTRO PARA SU
ESTUDIO.

MAQUEY ANTES DE EXTRACCION (F.Q.-2551-Q)

HUMEDAD (por Estufa)	77.65	%
EXTRACTO ETHEREO (por Mojonnier)	0.75	%
PROTEINA (N x 6.25)	0.74	%
CENIZAS	1.27	%
FIBRA CRUDA	3.88	%
CARBOHIDRATOS (por diferencia)	15.71	%

SIN MAS POR EL MOMENTO Y ESPERANDO
QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS LES SEAN DE UTILIDAD
NOS ES GRATO SALUDARLES.

ATENTAMENTE
CENTRO DE CONTROL

G. en A. MA. CRISTINA VALDEZ MURUA.

Priv. Conin No. 1
Tel./Fax. (42) 16-75-62
C.P. 76000
Querétaro, Qro.

Analisis

Microbiología:
Cuenta Bacteriana
Grupo Coliformo
Salmonella
Estafilococos
Estreptococos
E. Coli
Hongos
Levaduras
Anaerobios
Otros

Fisicoquímicos:
Bromatológicos
Minerales
Vitaminas
Aditivos
Aflatoxinas
Materia Extraña
Otros

Instrumentales:
Cromatografía de Gases
Cromatografía de Líquidos
Espectroscopía Atómica
Espectrofotometría
Infrarrojo
Aminogramas
Otros

Análisis de Agua:
Bacteriológicos
Fisicoquímicos
Aguas Residuales

Asesorías en:
Control de Calidad
Inspecciones Sanitarias
Auditorías de Calidad
Desarrollo de Productos
Investigación Aplicada
Estudios Especiales



Centro de Control Total de Calidades del Bajío, S.A. de C.V.

Alimentos • Bebidas • Medicamentos • Cosméticos • Agroindustria • Desarrollo de Productos • Industria Química en General

Priv. Conin No. 1
Tel./Fax. (42) 16-75-62
C.P. 76000
Querétaro, Qro.

REF: 0437-93
O.T. 2491
MAYO 14, 1993.

**CENTRO DE INVESTIGACION Y ASISTENCIA
TECNICA DEL ESTADO DE QUERETARO
AV. DEL RETABLO 150
QUERETARO, QRO.**

MUY SEÑORES NUESTROS:

A CONTINUACION SE SERVIRAN
ENCONTRAR LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EFECTUADO A
UNA MUESTRA ENVIADA POR UDS. A ESTE CENTRO PARA SU
ESTUDIO.

MAGUEY DESPUES DE EXTRACCION
(F.Q.-2552-Q)

Análisis
Microbiología:
Cuenta Bacteriana
Grupo Coliforme
Salmonella
Estafilococos
Streptococos
E. Coli
Hongos
Elevaduras
Anaerobios
Otros
Fisicoquímicos:
Petroquímicos
Minerales
Vitaminas
Aditivos
Aflatoxinas
Materia Extraña
Otros
Instrumentales:
Cromatografía de Gases
Cromatografía de Líquidos
Espectroscopía Atómica
Espectrofotometría
Infrarrojo
Cromatogramas
Otros
Análisis de Agua:
Bacteriológicos
Fisicoquímicos
Residuales
Asesorías en:
Control de Calidad
Inspecciones Sanitarias
Auditorías de Calidad
Desarrollo de Productos
Investigación Aplicada
Estudios Especiales

HUMEDAD (por Estufa)	66.62	%
EXTRACTO ETereo (por Mojonnier)	0.83	%
PROTEINA (N x 6.25)	0.92	%
CENIZAS	2.05	%
FIBRA CRUDA	11.67	%
CARBOHIDRATOS (por diferencia)	17.91	%

SIN MAS POR EL MOMENTO Y ESPERANDO
QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS LES SEAN DE UTILIDAD
NOS ES GRATO SALUDARLES.

A T E N T A M E N T E
CENTRO DE CONTROL

P.A.
Q. en A. MA. CRISTINA VALDEZ MURUA.

Este reporte sólo podrá ser empleado con fines
legales o publicitarios, previa autorización por
escrito del Centro de Control Total de Calidades del Bajío,
S.A. de C.V.



Centro de Control Total de Calidades del Bajío, S.A. de C.V.

Alimentos • Bebidas • Medicamentos • Cosméticos • Agroindustria • Desarrollo de Productos • Industria Química en General

Priv. Conin No. 1
Tel./Fax. (42) 16-75-62
C.P. 76000
Querétaro, Gro.

REF: 0437-93
O.T. 2491
MAYO 14, 1993.

**CENTRO DE INVESTIGACION Y ASISTENCIA
TECNICA DEL ESTADO DE QUERETARO
AV. DEL RETABLO 150
QUERETARO, GRO.**

MUY SEÑORES NUESTROS:

A CONTINUACION SE SERVIRAN
ENCONTRAR LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EFECTUADO A
UNA MUESTRA ENVIADA POR UDS. A ESTE CENTRO PARA SU
ESTUDIO.

MAQUEY ANTES DE EXTRACCION
(F.Q.-2551-Q)

HUMEDAD (por Estufa) 77.65 %

EN BASE SECA:

EXTRACTO ETereo (por Mojonnier) 3.36 %

PROTEINA (N x 6.25) 3.31 %

CENIZAS 5.68 %

FIBRA CRUDA 17.36 %

CARBOHIDRATOS (por diferencia) 70.29 %

SIN MAS POR EL MOMENTO Y ESPERANDO
QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS LES SEAN DE UTILIDAD
NOB ES GRATO SALUDARLES.

A T E N T A M E N T E
CENTRO DE CONTROL

P.A.
G. en A. MA. CRISTINA VALDEZ MURUA.

Aseorías en:
Control de Calidad
Inspecciones Sanitarias
Auditorías de Calidad
Desarrollo de Productos
Investigación Aplicada
Estudios Especiales



Centro de Control Total de Calidades del Bajío, S.A. de C.V.

Alimentos • Bebidas • Medicamentos • Cosméticos • Agroindustria • Desarrollo de Productos • Industria Química en General

Priv. Conin No. 1
Tel./Fax. (42) 16-75-62
C.P. 76000
Querétaro, Qro.

REF: 0437-93
O.T. 2491
MAYO 14, 1993.

**CENTRO DE INVESTIGACION Y ASISTENCIA
TECNICA DEL ESTADO DE QUERETARO
AV. DEL RETABLO 150
QUERETARO, QRO.**

MUY SEÑORES NUESTROS:

A CONTINUACION SE SERVIRAN
ENCONTRAR LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EFECTUADO A
UNA MUESTRA ENVIADA POR UDB. A ESTE CENTRO PARA SU
ESTUDIO.

MAQUEY DESPUES DE EXTRACCION
(F.Q.-2552-Q)

HUMEDAD (por Estufa)	66.62	%
EN BASE SECA:		
EXTRACTO ETereo (por Mojonnier)	2.49	%
PROTEINA (N x 6.25)	2.76	%
CENIZAS	6.14	%
FIBRA CRUDA	34.96	%
CARBOHIDRATOS (por diferencia)	53.65	%

SIN MAS POR EL MOMENTO Y ESPERANDO
QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS LES SEAN DE UTILIDAD
NOS ES GRATO SALUDARLES.

A T E N T A M E N T E
CENTRO DE CONTROL

Q. en A. MA. CRISTINA VALDEZ MURUA.

Este reporte sólo podrá ser empleado con fines
legales o publicitarios, previa autorización por
escrito del Centro de Control Total de Calidades del Bajío,
S.A. de C.V.