

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO SOBRE EXTRACCION DE SACAROSA
POR MEDIO DE PRENSADO

TESIS PROFESIONAL

Que presenta el Señor

ALBERTO BAZAN HERNANDEZ
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

MT 32

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

Presidente	Héctor M. López Herrera
Vocal	Antonio Reyes Chumacero
Secretario	Cutberto Ramírez Castillo
1er. Suplente	Roberto Andrade Cruz
2do. Suplente	Armando Claudio Aguilar Martínez

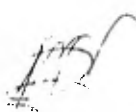
SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

Provedora Azucarera, S. A.

México, D. F.

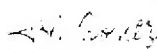
Nombre Completo y firma del sustentante:

Alberto Bazán Hernández



Nombre Completo y firma de asesor del tema:

Ing. Héctor M. López Herrera



CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I

Molienda y descripción del equipo

CAPITULO II

Extracción en el sistema de molinos

CAPITULO III

Descripción del sistema de prensado y
cálculo de su extracción

CAPITULO IV

Consideraciones económicas

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION.

INTRODUCCION

Por muchos siglos la extracción de la sacarosa en la caña de azúcar ha sido por medio de compresión a la misma. Los molinos más primitivos de que se tiene conocimiento, consistían de dos rodillos verticales de piedra ó madera, los cuales eran movidos por animales.

En 1656, el Padre Labat, nos describe un molino que vió durante su visita a las Indias, el cual consistía en tres rodillos verticales colocados en línea recta. El rodillo era movido por agua.

Basándose en este sistema, González de Veloza, construyó el primer molino horizontal pero el rodillo central colocado en la parte superior ó sea en forma triangular, lo que permitió una mayor presión sobre la caña obteniéndose como resultado una mayor extracción de la sacarosa.

Así a través de los años se fue desarrollando y perfeccionando este sistema hasta llegar a los trenes de molienda actuales, los cuales consisten de varios molinos de tres mazas movidas por turbinas.

En los últimos 12 años, la Industria Azucarera Australiana, desarrolló los molinos de cinco mazas, obteniéndose con ellos, usando un buen sistema de maceración, extracciones de 95%.

Otro sistema novedoso de los últimos años es la extracción de sacarosa, por medio de difusión.

Hace algunos años, basándose en los resultados obtenidos con las Prensas de Tornillo, usadas para la extracción de aceites del tipo de cártamo, olivo, etc., se pensó en utilizarlas para la extracción de sacarosa en el bagazo.

Las primeras pruebas fueron efectuadas sobre el bagacillo con mucho éxito.

Esta prensa se ha ido perfeccionando encaminándose para este uso específico, con fantásticos resultados.

También se ha desarrollado un tipo similar de prensa para el bagazo, de las cuales ya se cuenta con algunas instalaciones en el mundo. Esta prensa se ha instalado en trenes de molienda como último molino.

Basándose en los resultados prácticos obtenidos en estas instalaciones, - costos de montaje y mantenimiento de este equipo se pretende en esta tesis desarrollar la Teoría para la extracción de sacarosa por medio de un tandem de prensas haciendo a su vez una comparación económica y de extracción con un tandem convencional de molinos, ya que consideramos que en un futuro no muy lejano podría este sistema sustituir a los tandems de molinos usados actualmente.

CAPITULO I

MOLIENDA Y DESCRIPCION DEL EQUIPO.

CAPITULO I

GENERALIDADES:

La recuperación del azúcar de la caña, requiere la separación del jugo del material fibroso que se encuentra en la estructura del tallo, como se muestra en el dibujo de la sección transversal de un internudo (Figura No. 1). El tejido dentro de la corteza, es un conglomerado de celdillas con paredes delgadas que forman el parénquima, en las cuales están incluidas el conjunto vascular. La corteza y los conjuntos vasculares, constituyen lo que comunmente se llama la "fibra" de la porción fibrosa mientras que el tejido parenquimatoso en forma de láminas se conoce como médula (Pith). Estos materiales juntos, hacen el contenido de fibra, el cual es determinado por los métodos usuales de análisis.

Las celdillas de almacenaje del parénquima contiene el jugo más rico en azúcar. Como estas celdillas son fáciles de romper, este es el primer líquido que se obtiene cuando el tallo se sujeta a la primera expresión. En estas celdillas es donde se encuentra el más alto brix, la más alta pureza y es el que se conoce como jugo de desmenuzadora ó jugo de primer molino.

Dentro de los relativamente fuertes conjuntos vasculares, se encuentran los vasos conductores, los cuales se extienden a través de toda la planta desde las raíces hasta las hojas. El líquido de este sistema conductor varía mucho, en comparación, pero es un compuesto diluido y de baja pureza. Estando bien protegido por el grueso de las paredes fibrosas, este líquido realmente no puede expresarse y se extrae parcialmente en el último molino. Por eso es que el jugo residual siempre tiene baja pureza.

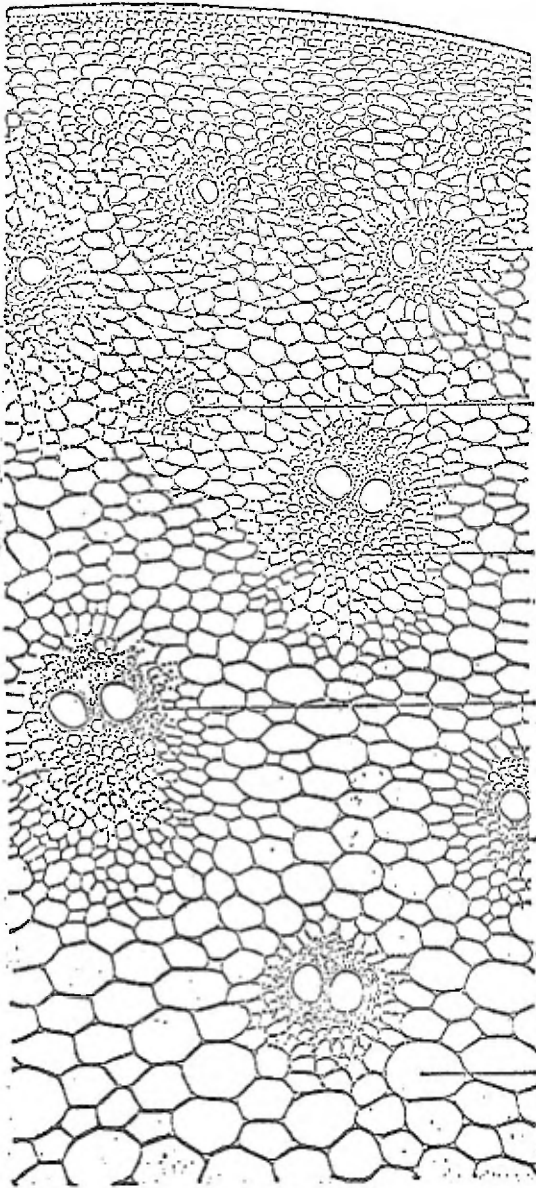


FIGURA No. 1 SECCION TRANSVERSAL DE UN INTERNUDO

Como una figura simplificada, la caña puede considerarse compuesta por dos tipos de material fibroso en la médula (Pith) y los conductores fibrosos y dos tipos de jugo, el estacionado ó estático y el jugo dinámico.

En el mecanismo de rotura del tallo de caña preliminar a la separación de jugo y fibra, es importante el considerar estas características de estructura y composición. El jugo rico en azúcar está almacenado en las grandes y débiles celdillas. Los no azúcares, están en una proporción alta en las celdillas fuertes del sistema fibro-vascular. Teóricamente una preparación correcta debe permitir la rotura y el deshilado de las celdillas fibrosas. En estas condiciones, el jugo resultante, tendría un máximo de riqueza y la fibra tendría el mayor porcentaje de material de baja pureza.

Básicamente, la maquinaria ha sido desarrollada para efectuar un máximo de rotura de las celdillas que almacenan el jugo, con un mínimo de rotura del conjunto fibroso, excepto para reducir su longitud y un mínimo en triturado, exprimido y prensado, haciendo que el jugo estático permanezca sin mezclarse hasta donde sea posible con el jugo dinámico.

PREPARACION DE LA CAÑA:

La preparación de la caña para un efectivo desplazamiento del jugo requiere una reducción de tamaño para dar una longitud de partícula, la cual provoque una cama compacta y permeable y una rotura de las celdillas de almacenaje de jugo adecuado. Esto debe ser efectuado con un mínimo de triturado de la estructura fibrosa a fin de que permanezca el máximo de jugo de baja pureza en los canales.

baja pureza en los canales.

La preparación de la caña puede efectuarse de varias maneras:

1. Por medio de cuchillas giratorias que cortan la caña en astillas sin extracción de jugo.
2. Por desfibradoras que pican la caña pero no extraen jugo.
3. Por desmenuzadoras que rompen la estructura de la caña, extrayendo una gran cantidad de jugo.

CUCHILLAS ROTATORIAS:

Objeto y uso de las cuchillas:

Con la caña entera, el intento de obtener una alimentación uniforme a la desmenuzadora, nunca se ha logrado con éxito. Poniendo un nivelador (gallego) sobre el conductor, puede obtenerse una capa de caña con un espesor uniforme, pero que puede dificultar el trabajo de la desmenuzadora, ya que sus rodillos, deslizan sobre las superficies pulidas y cerosas de la caña, pudiendo ocurrir un atascamiento. Con las cuchillas, la caña, se alimenta en pequeños pedazos, disminuyendo los espacios libres entre ellos y obteniendo una cama compacta, la cual desliza fácilmente en la tolva de alimentación de la desfibradora.

Las cuchillas, entonces tienen dos funciones y dos ventajas:

- a) Favorecen la capacidad de los molinos.
- b) Ayudar a la extracción de los molinos al romper la corteza de la caña y facilitar su desintegración y extracción de jugo.

DEFIBRADORAS:

Su objeto es completar la preparación y desintegración de la caña para facilitar la extracción del jugo por los molinos.

Consisten de un pulverizador de martillos giratorios operando dentro de un armazón de acero (Figura No. 2). La caña entra por una tolva en la parte superior y sale entre las barras de yunque dispuestas en la parte inferior del armazón separados una pequeña distancia del cilindro descrito por las puntas de los martillos.

Además este equipo dá una muy buena preparación a la caña dejándola en forma de una especie de paja que es muy fácil de alimentar al molino, logrando con esto un aumento en la extracción a la vez de mayor capacidad.

DESMENUZADORAS:

Objeto:

La desmenuzadora es la primera máquina aplicando presión que la caña encuentra al llegar a la estación de molienda. Consiste de un molino, generalmente de dos rodillos, los cuales efectúan dos funciones principales.

- a) Aseguran la alimentación a todo el tren de molienda.
- b) Prepara la caña de tal manera que facilita el agarre de los rodillos y la extracción del jugo por los molinos.

Las características de una desmenuzadora son como sigue:

1. Poseen una superficie construída especialmente para prensar en las mejores condiciones posibles, la caña ó pedazos de caña que le son alimentados.

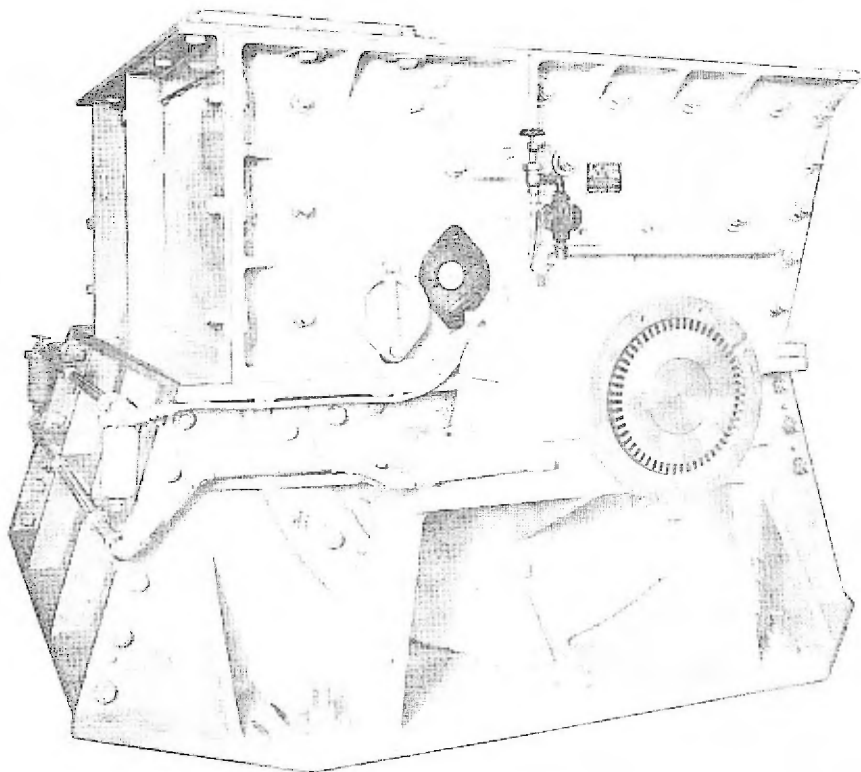


FIGURA No. 2 DESFIBRADORA DE MARTILLOS

2. Esta superficie se diseña al mismo tiempo de una manera tal que pueda romper y desmenuzar la caña para permitir que los molinos trabajen inmediata y efectivamente sobre el material ya roto, el cual es ya de la naturaleza del bagazo más que de la caña.
3. Debe tener una velocidad periférica superior a la de los molinos que tienen que alimentar, ya que el material que se le alimenta no tiene todavía la forma de bagazo y aún es difícil de prensar.

Las desmenuzadoras en general, consisten de dos rodillos profundamente ranurados. Todos los rodillos de desmenuzadora, tienen dos tipos generales de rayado; el Krajewski, con rayado longitudinal de tipo Chevron y el Fulton con un rayado espiral en forma de V.

CONDUCTORES DE BAGAZO Y RODILLOS DE ALIMENTACION:

Para transportar la caña parcialmente molida de un molino a otro, se usan los conductores intermedios que generalmente son de tablillas ó bien una banda de hule.

El transportador tiene tablillas de acero solapadas abulonadas a cadenas de acero que corren sobre ruedas doblemente dentadas. Las cadenas se apoyan en rieles de acero a todo lo largo del transportador y las chapas protectoras evitan la caída de bagazo entre los extremos de las tablillas y los extremos de las tablillas y los costados del transportador.

RODILLO ALIMENTADOR:

Estos se encuentran montados sobre ó debajo del conductor, pero generalmente consisten de corazas de acero ó hule vacíos, que pueden ser llenados con -

agua ó con arena para aumentar su peso y asegurar una buena alimentación.

El accionamiento se toma del eje principal por medio de engranajes fresados. -

El rodillo alimentador y sus engranes, son soportados en cojinetes oscilantes desde el soporte del eje principal.

MOLINOS:

Los molinos en la actualidad tienen 3 rodillos dispuestos en forma triangular, los cuales se conocen como maza superior, el que va arriba de los otros dos, maza cañera sobre el cual pasa la caña al entrar en el molino y maza bagacera, aquel sobre el que pasa el bagazo al salir del molino. Las dos mazas inferiores están fijas en su sitio. La superior, que es controlada por un ariete hidráulico, sube y baja, "flotando", según las variaciones de la alimentación. El bagazo es inducido desde la abertura entre las mazas -- bagacera y superior, por medio de una placa curva, llamada cuchilla central.

Las mazas y la cuchilla están soportadas por piezas macizas de fundición llamadas vírgenes. La fuerza matriz se transmite a la maza superior por "coronas" (engranes) que van montadas sobre la flecha de la maza, recibiendo las dos mazas inferiores, movimiento de la corona superior.

Rayado de los molinos:

El tipo de rayado de uso más general es el circunferencial, consiste de ranuras en el rodillo con muescas describiendo círculos completos en un plano perpendicular a su eje y distribuidos regularmente sobre su periferia.

La práctica normal es para los rayados mayores en el primer molino y los menores en los últimos molinos.

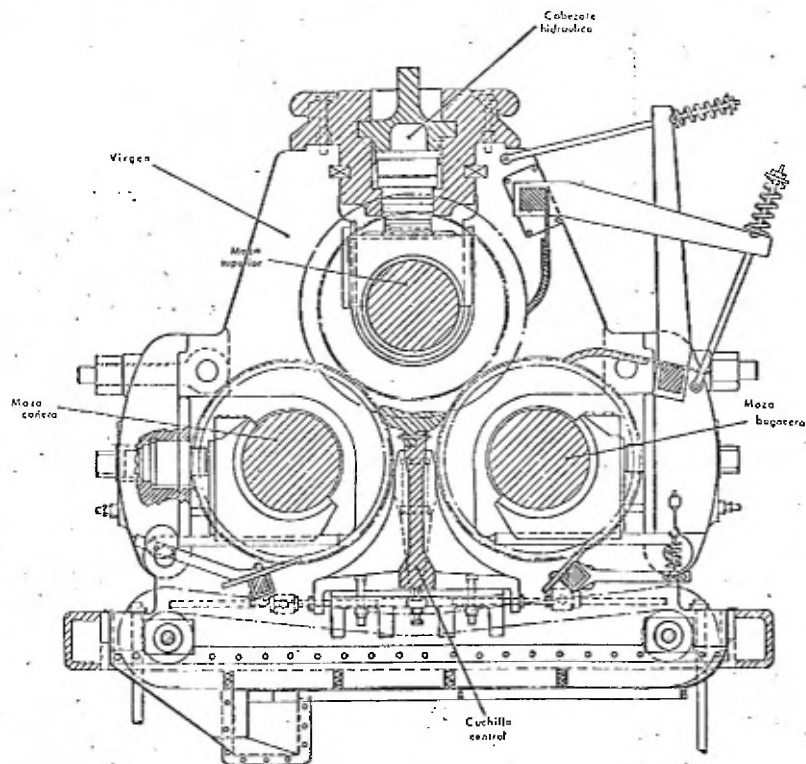


FIGURA No.3 CORTE DE UN MOLINO DE TRES MAZAS.

Messchaerts:

Tienen como único objetivo aumentar la extracción, proporcionando un canal circunferencial para drenaje del jugo. Sus dimensiones generalmente son de 3/16" de ancho por 1" de profundidad y una separación entre ellas de 2" a 3".

Para limpieza de los messchaerts se cuenta con raspadores que son barras de acero.

Desgaste de los rodillos:

Las causas principales son cuatro:

Corrosión del metal por el jugo ácido, fricción de los peines y cuchilla central; paso de pedacería de fierro, que destruye el metal ó rompe los dientes y la necesidad de retornar el rodillo a su forma cilíndrica original durante la reparación. El desgaste es generalmente mayor en el centro que en los extremos.

PRESION:

La presión que se ejerce sobre el rodillo superior, se regula casi universalmente por medio de un ariete hidráulico. La razón más evidente por la cual se desea que haya regulación de esta presión, es la de compensar las variaciones en el volumen de caña que está pasando a través del molino. El procedimiento más moderno para este fin, hace uso de aire comprimido en un cilindro, como acumulador de presión. Indicadores de movimiento, que señalan la oscilación vertical de cada extremo del rodillo proporcionan información valiosa sobre la uniformidad de la presión y de la alimentación.

Cuando la presión hidráulica es aumentada, comenzando con un valor pequeño, la extracción aumenta repidamente hasta que la presión hidráulica específica (la presión hidráulica total dividida por un décimo de longitud por el diámetro) alcanza un valor cerca de 140 tons/ft^2 en que el aumento de extracción no es ya tan notorio como puede verse en la gráfica de variación de extracción en función de la presión tomada del libro de Hugot. (Figura No. 4).

SECUENCIA DE PRESIONES EN EL TREN DE MOLINOS:

Generalmente los trenes cortos, usan mayor presión que los largos. Los molinos intermedios generalmente tienen menor presión, particularmente el segundo. Entre el segundo y tercer molino es donde hay el mayor incremento en la presión. El último molino es generalmente trabajado con la más alta presión.

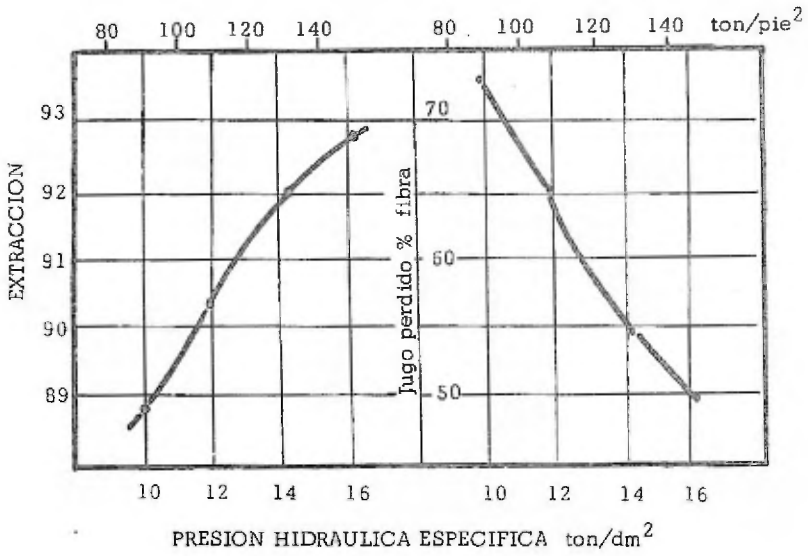


Figura No. 4. VARIACION DE LA EXTRACCION COMO FUNCION DE LA PRESION.

CAPITULO II

EXTRACCION EN EL SISTEMA DE MOLINOS.

AJUSTE DE LOS MOLINOS:

El principal problema cuando se usa este sistema de extracción de azúcar, es precisamente determinar la abertura entre los rodillos de un molino y la relación de la cuchilla central con las mazas que es lo que se conoce como ajuste del molino.

La abertura de un molino se calcula a la salida de él, ó sea la abertura entre la maza superior y la maza bagacera y depende de los siguientes factores:

1. Cantidad de caña que se desea moler;
2. Porcentaje de fibra en la caña;
3. Composición cuantitativa del bagazo a la salida de cada molino;
4. Velocidad del molino;
5. Longitud de la maza.

La capacidad del molino tiene factores muy variables que afectan directamente a sus valores, razón por la que existen muchas maneras de calcular la aunque probablemente la más adecuada sea la ecuación 141 de Hugot:

$$C = \frac{cnLD^2/N}{65f}$$

en donde:

- C= capacidad del molino en toneladas de caña por hora (t.c.h.)
 f= contenido de fibra por unidad de caña
 c= coeficiente de preparación de la caña (generalmente de 1.15 - 1.20)

n = velocidad de rotación de las mazas

L = longitud de los rodillos

N = número de rodillos en el tandem

VELOCIDAD DEL MOLINO:

La velocidad tangencial de los molinos está determinada por la velocidad angular de la maza y sudiámetro. La velocidad angular de las mazas de los molinos es un valor más ó menos constante debido a que está limitada por el desalojo de jugo de acuerdo con su adherencia y por el deslizamiento de las mazas sobre el bagazo.

La cantidad de bagazo en los molinos está dado por la relación:

$$B = t.c.h. \times 36.7 \times \% \text{ de bagazo en caña}$$

$$\% \text{ de bagazo en caña} = \frac{\% \text{ de fibra en caña}}{\% \text{ de fibra en bagazo}}$$

en donde % de fibra en caña es un dato determinado por los métodos usuales de análisis y depende del tipo de caña por moler. Los valores de % de fibra en bagazo en cada molino, varían de acuerdo con las características de cada unidad molidora, dependiendo de su presión.

Los valores normales de % de fibra en bagazo para un tren de 1 desmenuzadora y 5 molinos es:

Desmenuzadora	1er. molino	2o. molino	3er. molino	4o. molino	5o. molino
28%	34%	39%	43%	48%	50%

PESO ESPECIFICO DE BAGAZO:

El bagazo al ser comprimido en un tren de molienda, llega a pesar de 70 a 80 lb/pie³

Los valores normalmente tomados son 70 para los dos primeros molinos, 80 para los dos últimos molinos y los intermedios 78.

Disponiendo de estos datos se calcula la abertura trasera como:

$$A = \frac{B \times 12}{Pe \times L \times V}$$

en donde:

A= Abertura en pulgadas

B= Bagazo en lb/min

Pe= peso específico del bagazo en lb/pie³

L= Longitud de la maza en pies

V= velocidad tangencial de la maza superior en pies/min.

Una vez calculada la abertura trasera, se calcula la abertura delantera mediante la relación de aberturas $A_e/A_s =$ Ajuste de entrada a ajuste de salida.

Este valor está alrededor de 2 para el primer molino y vá aumentando en los siguientes molinos.

La diferencia entre la abertura y el ajuste del molino está en la flotación. La abertura es la distancia entre las mazas cuando el molino está en operación y el ajuste es la distancia entre las mazas cuando el molino se encuentra sin carga.

Entonces $A = S + F$ en donde:

A = abertura

S = Ajuste del molino

F = flotación

Los valores normales de la flotación son de 3/8"

EXTRACCION:

Entre los factores que afectan la eficiencia de la molienda se encuentran algunos que ya hemos considerado como son: estado de preparación de la caña, presión específica empleada, ajuste adecuado de los molinos, velocidad de rotación de los rodillos y algunos otros que veremos:

Longitud del tren de molienda, carga específica de fibra y la imbibición.

Longitud del tren de molienda:

Este factor tiene un efecto indirecto, pero que es importante debido a que en un tren corto, la capa de bagazo debe ser reducida para obtener una buena extracción, mientras que en un tren largo, el espesor de la capa de bagazo puede ser aumentado a medida que el número de rodillos es mayor. De aquí resulta que con un tren largo, se puede tener un aumento de capacidad o bien un aumento de extracción para una capacidad dada cuando se compara un tren corto con uno largo para la misma velocidad de molienda.

CARGA ESPECIFICA DE FIBRA:

Como la capa de bagazo es proporcional al diámetro de las mazas, la carga fibrosa de un molino grande, es normalmente mayor que la de uno pequeño.

La carga específica de fibra (\mathcal{E}) es una medida de la razón.

$$\theta = \frac{\text{caña realmente molida}}{\text{capacidad teórica del tren}}$$

La extracción y para ser más precisos, la eficiencia del trabajo del molino disminuye a medida que la razón de capacidades aumenta.

IMBIBICION:

Cuando el bagazo es sujeto aún a elevadas y repetidas presiones, nunca cede todo el jugo que contiene. Se acerca a una humedad mínima que generalmente es de 50%, reteniendo una alta proporción del jugo que se acerca a la mitad de su peso.

Para extraer la mayor cantidad posible del azúcar contenido en ese jugo es necesario recurrir a un artificio, ya que el contenido de humedad no puede disminuirse, se hace el intento de reemplazar el jugo que el constituye por agua.

Con la molienda en seco, el límite de extracción es muy pronto alcanzado en la práctica: después de la desmenuzadora y el primer molino, la humedad del bagazo ha sido reducida a cerca de 60%. Después del 3er. molino, es muy próxima a 50% y puede considerarse que la extracción máxima posible por medio de molienda en seco ha sido alcanzada. Si en este punto el bagazo es rociado con agua: el agua penetrará en el bagazo diluirá el jugo rico que contiene, el siguiente molino, dejará el bagazo en la humedad original que habíamos fijado en 50%. Pero esta humedad no estará constituida del jugo rico, sino diluido, aumentando con esto la extracción de azúcar y pudiendo repetirse la operación.

Realmente, tomando en consideración la pequeña diferencia entre las humedades del bagazo, la imbibición debería comenzarse a la salida del primer molino, la ventaja está en la rapidez con la que el jugo que contiene el bagazo será más fácilmente diluido y extraído. La cantidad de jugo extraído sin la adición de agua, aumentada por la cantidad de agua añadida. La cantidad de azúcar extraído es mucho mayor que la que habría sido obtenida sin la adición de agua, ya que la cantidad de jugo remanente en el bagazo, ahora consiste de jugo diluido en lugar de absoluto.

La imbibición puede efectuarse de varias maneras; el procedimiento más simple es agregar agua en un solo punto, digamos antes de entrar al último molino, llamándose a este procedimiento imbibición simple ó única. Si se agrega agua en dos puntos será simple doble; si en tres, simple triple etc.

El sistema anterior consume mucha agua, que será necesario evaporar mas tarde. Partiendo de la imbibición simple única, se nota que el obtenido en el último molino, es casi agua, si se toma este jugo y se envía al penúltimo molino, la imbibición se llama compuesta doble en este caso y será triple cuádruple, etc., según el número de recirculaciones del jugo de un molino al anterior.

Normalmente se emplea una combinación de los dos sistemas o la imbibición compuesta múltiple. Ver figura No. 5

Se ha notado que el uso de agua caliente en la imbibición dá un ligero aumento en la extracción, que se debe a la destrucción del tejido de las cel

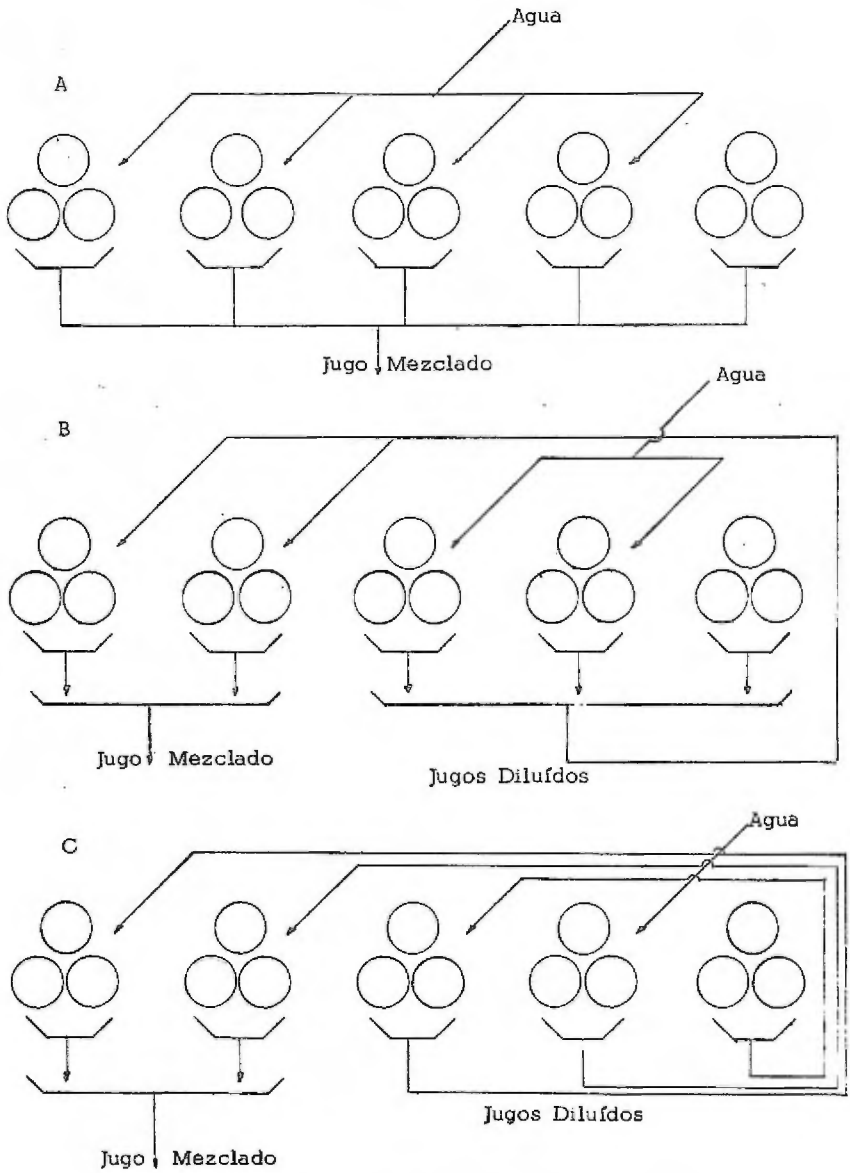


Figura No. 5 - Sistemas de Imbibición.

A - Imbibición Simple Múltiple, B - Imbibición Mixta Múltiple,
C - Imbibición Compuesta Múltiple

dillas, que son impermeables ó solamente permeables por osmosis, se convierten permeables y el agua tienen un acceso directo al jugo en las celdillas. Sin embargo los molinos no toman la alimentación tan fácil si la imbibición es con agua caliente como con fría, y para prevenir la extracción de gomas ó impurezas indeseables del bagazo, la temperatura del agua de imbibición no debe exceder los 140°F.

Normalmente, el agua ó jugos de imbibición se aplican al bagazo por medio de tubo perforado, de charolas ó de espreas que se encuentran normales a la dirección del flujo de bagazo en los molinos, de tal manera que hay un solo punto de aplicación de la imbibición en cada conductor intermedio.

El agua y los jugos recirculados rociados sobre el bagazo, penetran al colchón y lavan el azúcar y otras materias solubles e insolubles de las celdillas abiertas en la caña. El bagazo como una esponja, reabsorbe los jugos recirculados y se hincha.

Sin embargo la imbibición no es completa, debido a que el bagazo es ávido por el agua y jugos de imbibición, y a que cuando el colchón de bagazo recibe la imbibición, se encuentra con una humedad baja, la porción superior del colchón toma la mayor parte del líquido y no permite que el jugo ó agua penetren a todo el colchón y esto, aunado al poco tiempo de contacto disponible entre el líquido y el bagazo, dá como consecuencia una mala distribución y una dilución deficiente del jugo contenido en las celdillas de la caña.

La eficiencia de la molienda, es generalmente expresada en térmi-

nos del porcentaje de la sacarosa total en la caña que es extraído en el jugo (sacarosa en el jugo por ciento de sacarosa en caña). Esta cifra generalmente es conocida como la extracción de sacarosa ó simplemente la extracción, - expresada como:

$$\text{Extracción} = \frac{\% \text{ de sacarosa en jugo mezclado en caña} \times 100}{\% \text{ Sacarosa en caña}}$$

ec.216 (Hugot)

CALCULO DE LA EXTRACCIÓN DE UN MOLINO:

El sistema de molienda a estudiar, consiste de un doble juego de cuchillas y una desfibradora para la preparación de la caña, seguido de un tren de 5 molinos con 15 mazas de 42" de diámetro por 84" de largo. Que es un sistema apropiado para una molienda de 5,000 toneladas de caña por día. La imbibición usada será la compuesta múltiple, en la cual se agregará agua entre el último y penúltimo molino y con recirculación de jugo a los molinos anteriores y mandando a fábrica el jugo mezclado extraído en los dos primeros molinos.

De acuerdo a los razonamientos de Hugot, (pags. 223 a 245) tenemos que la extracción del jugo sin imbibición está dad por:

$$e' = \frac{\text{Jugo extraído}}{\text{Jugo de caña}} = \frac{m - f}{m(1-f)} \quad (196 \text{ Hugot})$$

en donde:

e' = Extracción seca de jugo

m = fibra en el bagazo

f = fibra en la caña

Pero la pureza del jugo extraído es mayor que la del residual, y la extracción de azúcar es mayor que la del jugo teniendo un valor de :

$$e = \frac{\alpha (m - f)}{m (1 - f)} \quad (197)$$

en donde α es un coeficiente teniendo un valor de 1.05 a 1.10

Para la extracción por la imbibición compuesta múltiple definiendo

a:

w , como cantidad de agua de imbibición por peso unitario de caña

$\lambda = \frac{w}{f}$, como la razón del peso de agua de imbibición al peso de la fibra.

e_1, e_2, e_3 y e_4 como las extracciones del 2o., 3o., 4o. y 5o. molinos.

$r = \frac{\lambda m}{1 - m + \lambda m}$ Como la proporción del jugo extraído.

e_t , extracción total, en seco más imbibición.

tendremos que la extracción obtenida por este sistema considerando que al primer molino en donde hay recirculación de jugo (en este caso al 2o. molino) - llega un material antes ser imbibido que tomaremos como la unidad se tienen que - las extracciones parciales de cada molino serán :

para el quinto molino :

$$e_4 = \frac{r}{1 - r} (1 - e_1)$$

para el cuarto:

$$e_3 = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1 - r} + \frac{r^2}{(1 - r)^2} \right]$$

para el tercero

$$e_2 = (1 - e_1) \left[\frac{r}{1-r} + \left(\frac{r}{1-r}\right)^2 + \left(\frac{r}{1-r}\right)^3 \right]$$

y para el segundo molino, ó sea la extracción que va a fábrica, tenemos:

$$e_1 = r \frac{1 + \frac{r}{1-r} + \left(\frac{r}{1-r}\right)^2 + \left(\frac{r}{1-r}\right)^3}{1 + r \left[\frac{r}{1-r} + \left(\frac{r}{1-r}\right)^2 + \left(\frac{r}{1-r}\right)^3 \right]}$$

habíamos definido a r como:

$$\frac{\lambda m}{1 - m + \lambda m}$$

pero como m siempre vale alrededor de 0.5 podemos tomar a

$$r = \frac{\lambda}{\lambda + 1}$$

de donde:

$$\lambda = \frac{r}{1 - r} \quad (206)$$

por lo cual se tiene:

$$e_1 = \frac{\lambda^4 - 1}{\lambda^5 - 1} \quad (207)$$

entonces la extracción total del tandem, de la molienda en seco mas

la molienda con imbibición será:

$$e_t = \frac{\alpha(m-f)}{m(1-f)} + \left[1 - \frac{(m-f)}{m(1-f)} \right] \lambda \frac{\lambda^4 - 1}{\lambda^5 - 1} \quad (208)$$

Sin embargo, se ha encontrado, que el agua y los jugos de imbibición se

mezclan solo en una proporción β con el jugo contenido en el bagazo el cual se han aplicado. Hay una proporción de este jugo, el cual no ha sido alcanzado ni diluido por el agua debido a las celdillas no abiertas y a la gran afinidad del bagazo por el agua, lo cual causa como ya habíamos mencionado, que la capa superior tome la mayor parte del agua y/o jugos aplicados, que serán más fácilmente extraídos por los siguientes molinos, que el jugo contenido en el bagazo. Se tiene entonces que dé la cantidad de azúcar que recibe, este molino recupera únicamente una proporción:

$$r < \beta r$$

Este coeficiente se define entonces como

$$\beta = \frac{\text{azúcar realmente extraída por la imbibición dada}}{\text{azúcar que debía extraerse según las fórmulas teóricas anteriores}}$$

Este coeficiente β es variable, y depende de la eficiencia del sistema de imbibición usada, de las condiciones de las mazas, del trabajo de los molinos, del estado de preparación de la caña, sin embargo, no hay un error apreciable en usar un valor entre 0.6 y 0.65

De acuerdo con el razonamiento anterior y por un procedimiento similar se llega a las fórmulas para las extracciones de cada molino incluyendo el factor β y son como sigue:

$$e_4 = \frac{\beta r}{1 - \beta r} (1 - e_1)$$

$$e_3 = (1 - e_1) \left[\left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right) + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 \right]$$

$$e_2 = (1 - e_1) \left[\left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right) + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^3 \right]$$

$$e_1 = \beta r \left[\frac{1 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right) + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^3}{1 + \beta r} \right] \left[\left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right) + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^3 \right]$$

y para la extracción total

$$e_t = \frac{\alpha (m-f)}{m (1-f)} \div \left[1 - \frac{\alpha (m-f)}{m (1-f)} \right] \left[\beta r \frac{1 + \frac{\beta r}{1 - \beta r} + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^3}{1 + \beta r \frac{\beta r}{1 - \beta r} + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^2 + \left(\frac{\beta r}{1 - \beta r} \right)^3} \right]$$

Para el sistema en consideración, la extracción obtenida se muestra en la

figura No. 6 por medio de las variables:

W_c	= Caña molida	Ton/hora
W_f	= Fibra	" "
W_s	= Sólidos Solubles	" "
W_w	= Agua de Imbibición	" "
W_{set}	= Sólidos Extraídos Totales	" "
W_{je}	= Jugo Extraído	" "
W_{fb}	= Fibra de Bagazo	" "
W_{wb}	= Agua en el Bagazo	" "
W_{sb}	= Sólidos Solubles en Bagazo	" "
f	= Relación de Fibra a Caña	" "
s	= Relación de Sólidos a Caña	" "
H_b	= Humedad en Bagazo	" "
s_b	= Sólidos en Bagazo	" "
f_b	= Fibra en Bagazo	" "
B_{xje}	= Brix de Jugo Extraído	" "
e_t	= Extracción total	" "

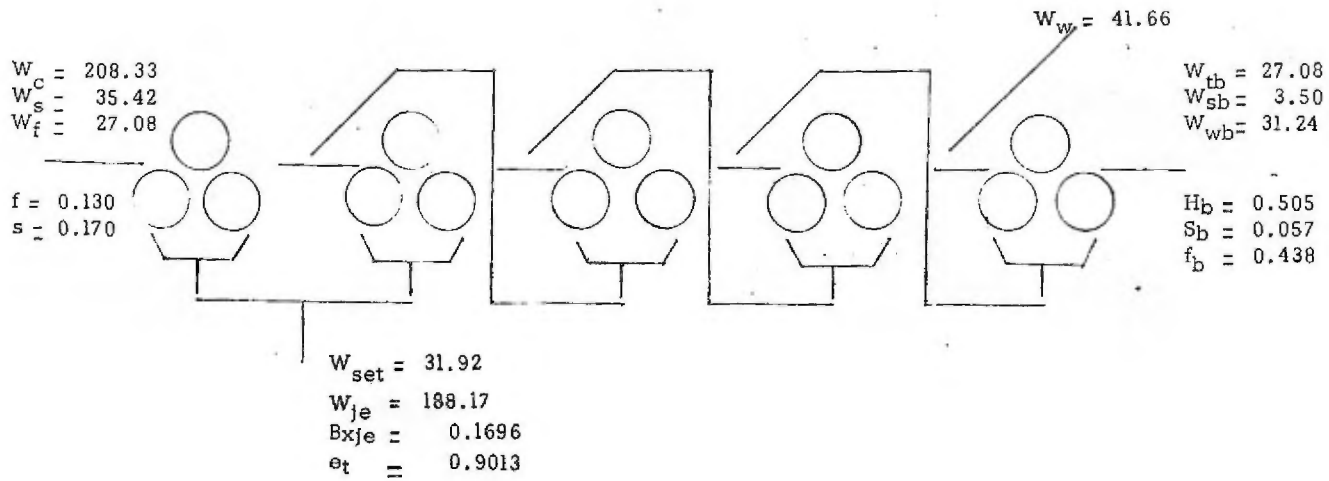


FIGURA No. 6 EXTRACCION DEL SISTEMA DE MOLINOS

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRENSADO

Y CALCULO DE SU EXTRACCION

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL EQUIPO PROPUESTO:

El sistema de extracción será a base de prensas de tornillo, las cuales estan diseñadas basándose en el mismo principio de la prensa de tornillo convencional. Estos equipos, (Figura No. 7) consisten de una tolva de alimentación de bagazo desde donde este cae por gravedad a un alimentador forzado que induce el bagazo al tornillo sinfín de la prensa que es de forma cónica y que se encuentra encerrado dentro de una cavidad estacionaria con la misma geometría. Estas prensas son accionadas por turbinas de vapor que giran a 4 500 RPM a las cuales se les provee de un reductor de alta velocidad para dar una velocidad de acoplamiento a la prensa de aproximadamente 1800 RPM.

La reducción en el paso y el diámetro del sinfín, hace que la presión vaya aumentando cuando el bagazo sea oprimido contra las paredes de la cavidad de la prensa.

- 1) El movimiento de la flecha principal de la prensa, está provisto de una caja de engranes, la cual constituye una unidad triple de reducción de velocidad; haciendo que el sinfín de la prensa gire a una velocidad de aproximadamente 70 RPM.
- 2) La flecha y el tornillo sinfín (Figura No. 8) estan diseñados para vencer una contrapresión hasta de 1500 libras por pulgada cuadrada, ejercida por medio de un cono en el extremo de descarga, que se opone a la salida del bagazo

El diámetro del sinfín va disminuyendo hacia el extremo final teniendo un diámetro a la entrada de 30 pulgadas; 27 pulgadas en la parte intermedia y finalmente 25 pulgadas de diámetro en

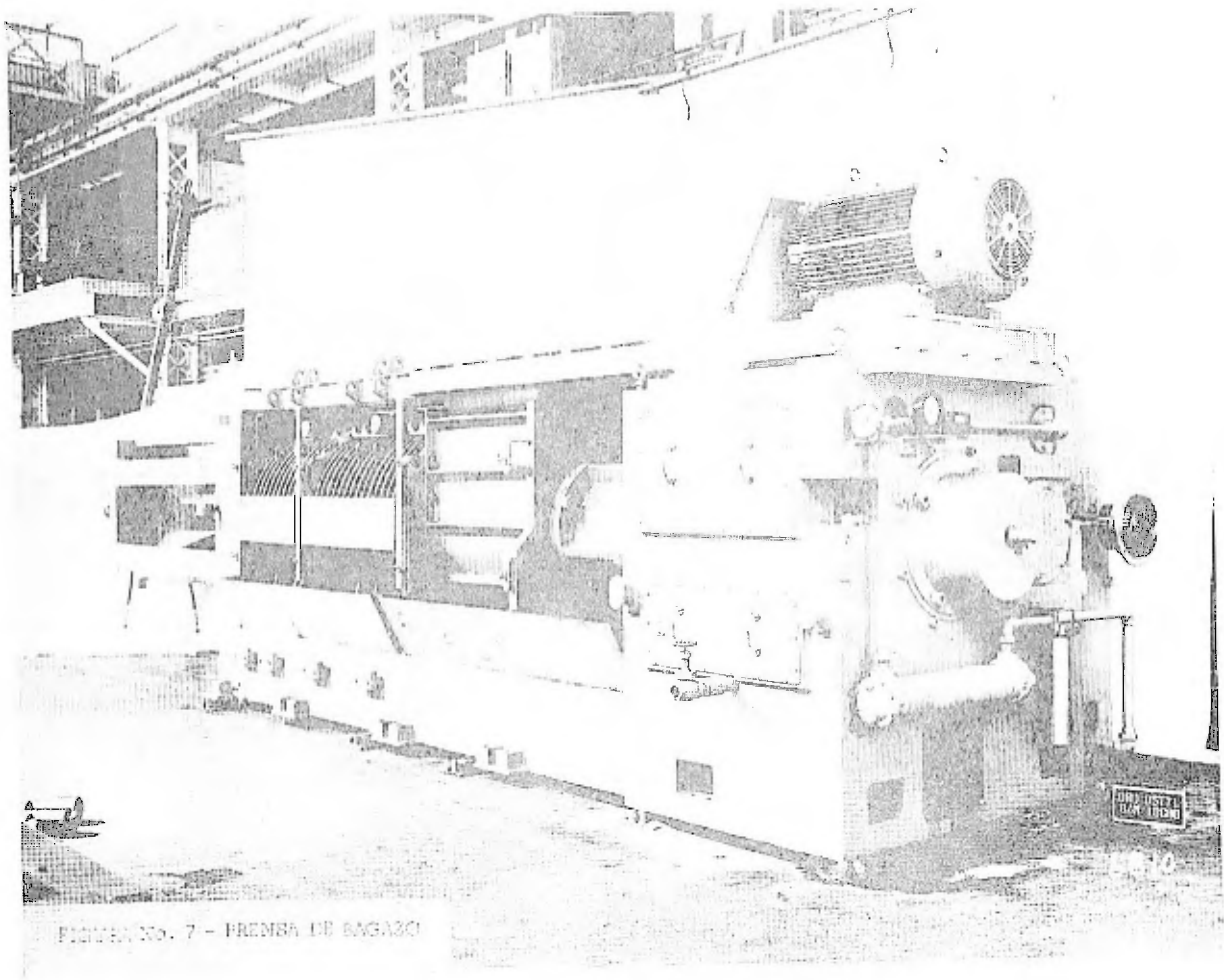


FIGURA No. 7 - PRENSA DE BAGAÇO

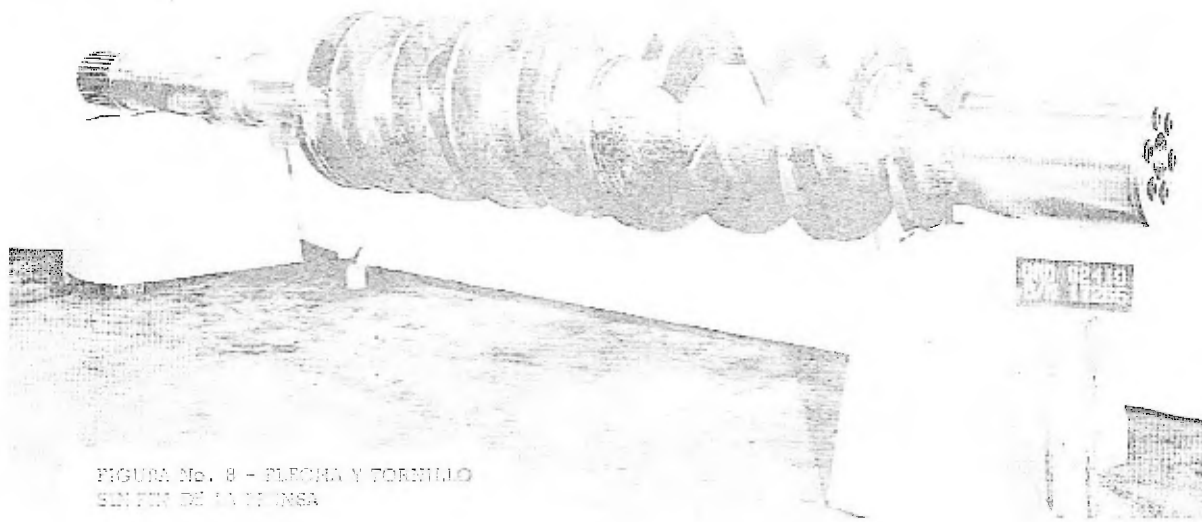
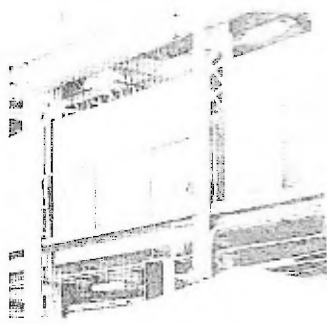


FIGURA No. 8 - FLECHA Y TORNEILLO
SEN FOT DE LA UMSA

la sección de la descarga; teniendo por lo tanto, una forma cónica.

El paso del sinfín también se vá reduciendo progresivamente.

3) Alimentación del bagazo:

Para la alimentación del bagazo, la prensa está provista de una tolva en la parte superior. El bagazo cae por gravedad a través de la tolva a un alimentador forzado que gira en el mismo centro que la flecha principal. Este alimentador está provisto de un movimiento independiente, este es accionado por un motor de 150 HP (Figura No. 9), con la transmisión hecha por medio de una cadena silenciosa (Figura No. 10), este alimentador forzado es un conductor de gusano de 30 pulgadas de diámetro y gira a una velocidad de 200 RPM, este alimentador tiene como objetivo primordial inducir el bagazo para que la alimentación sea constante y uniforme.

4) Drenaje del jugo:

El drenaje del jugo, en este tipo de prensas, (mostrado en la Figura No. 11), son telas de barras piramidales de acero inoxidable, que envuelven el gusano de la prensa y forman espacios cónicos para el drenaje del jugo, haciendo que este sea inatas cable.

5) Cono de contrapresión:

Este cono, (Figura No. 12), tiene como función el mantener una contrapresión constante que se opone a la salida del bagazo en la prensa, y tiene como objeto primordial que la descarga

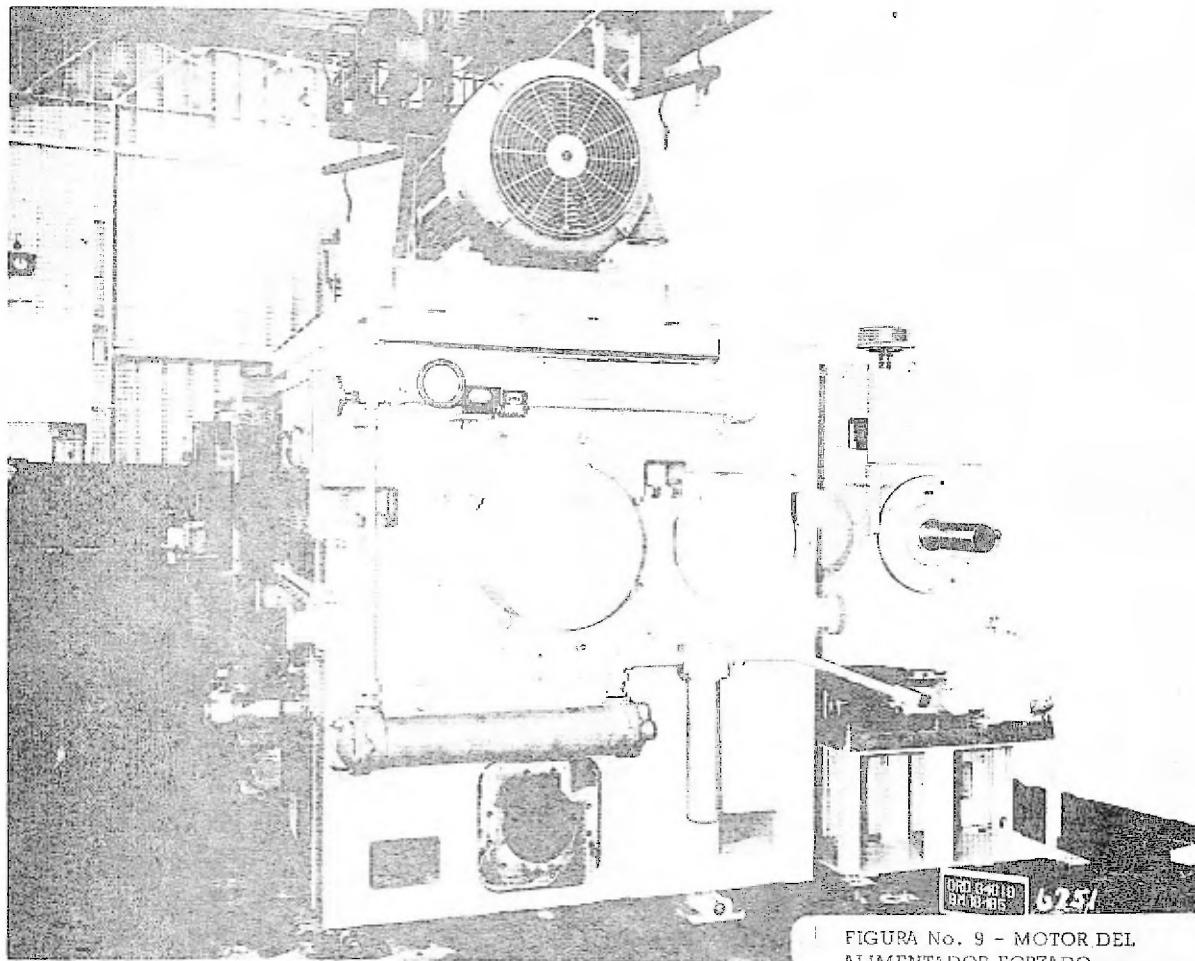


FIGURA No. 9 - MOTOR DEL
ALIMENTADOR FORZADO

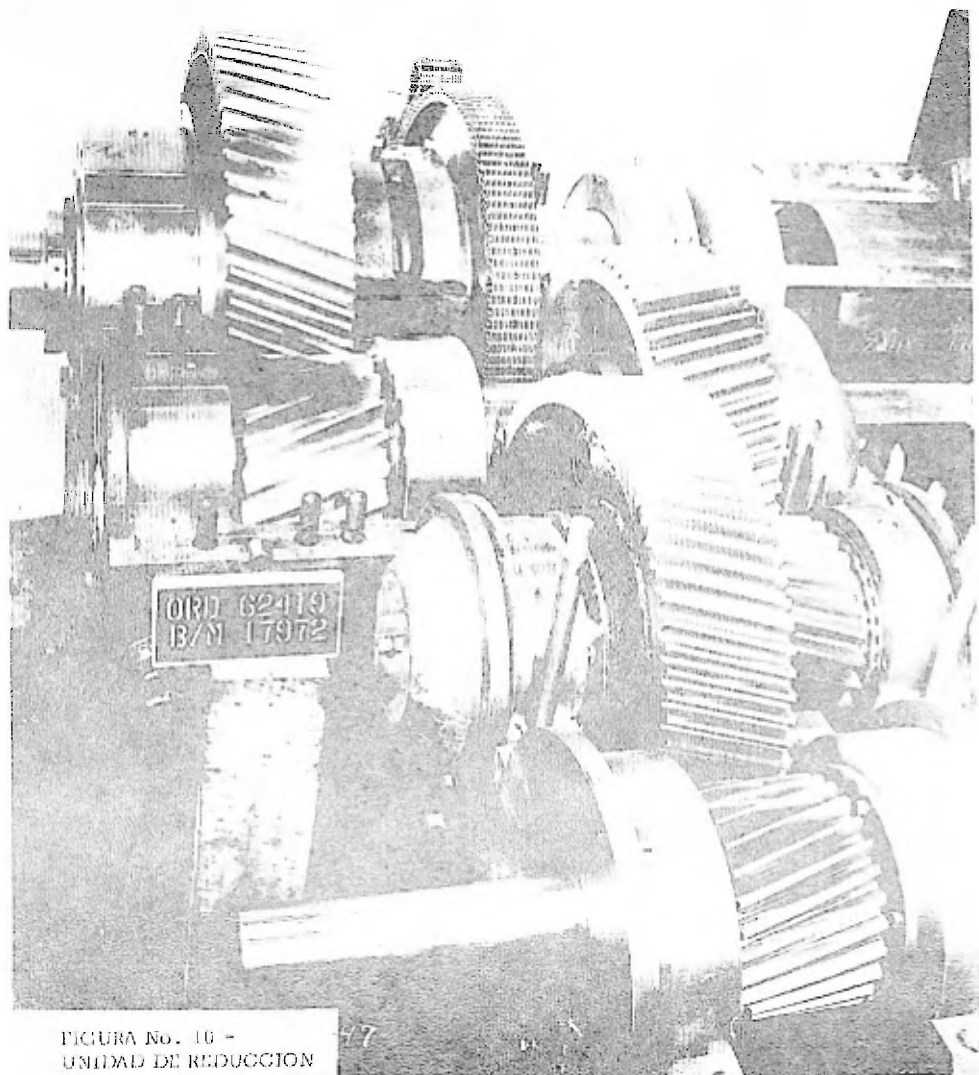


FIGURA No. 10 -
UNIDAD DE REDUCCION

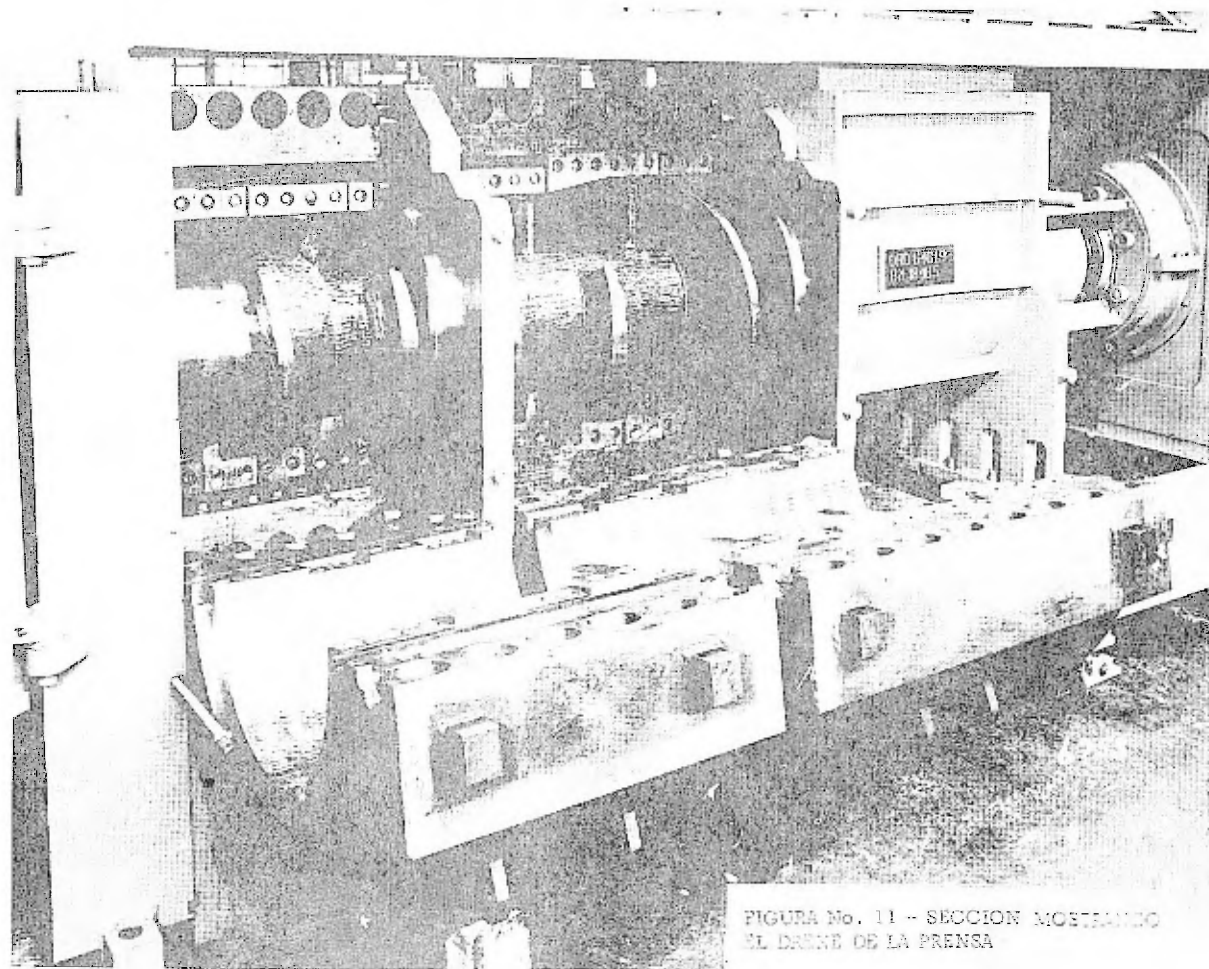


FIGURA NO. 11 - SECCION MOSTRANDO
EL DRENE DE LA PRESA

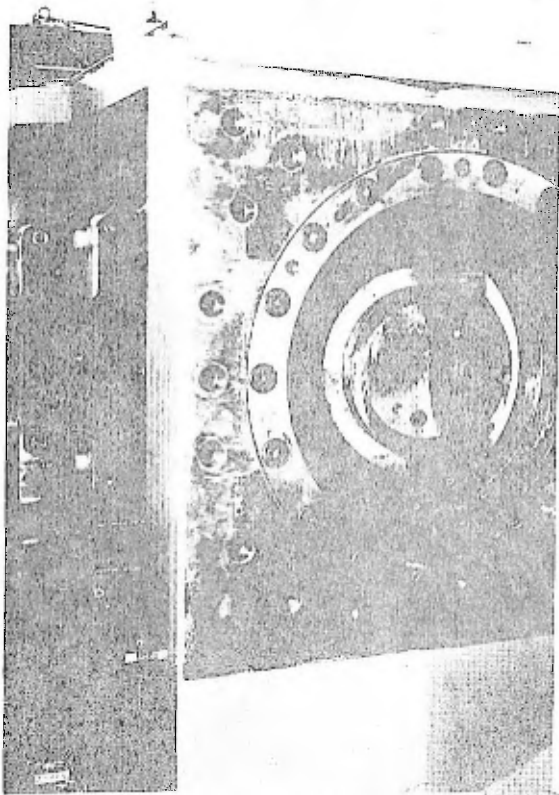
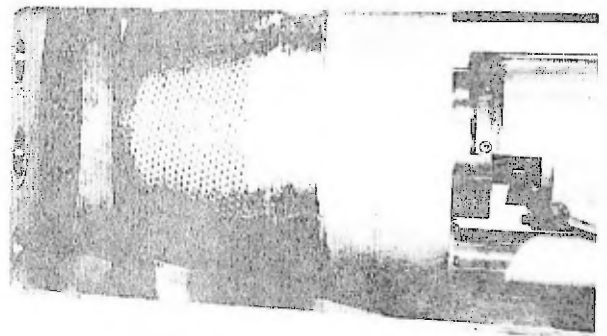


FIGURA No. 12 - SECCION AGRIBANICO
EL CONO DE CONTRAPESION



ORD 67619
BN 18485



6754

Heere Haven, Florida

del bagazo sea bajo presión evitando así la reabsorción natural del jugo en el mismo.

La presión en este cono varía entre las 800 y 1500 libras por pulgada cuadrada y es regulada hidráulicamente por un pistón.

- 6) La prensa está provista, en la parte inferior de un canal central a donde llegan todos los jugos extraídos, los cuales son mandados a la fábrica ó a los tanques de maceración (según sea el caso).

EXTRACCION:

En este caso, el equipo constará de tres prensas modelo K-70, construídas por la French Oil Mill Machinery Co., que están diseñadas para una capacidad de aproximadamente 32 toneladas de fibra por hora, y que corresponden a las dimensiones que se han dado en el apartado anterior. La preparación de la caña, se hará por medio de 2 juegos de cuchillas rotatorias y una desfibradora de martillos, ó sea la misma preparación propuesta para el sistema de molienda.

El sistema de imbibición usado, principalmente será del tipo compuesta múltiple, solo que la manera de aplicarla cambiara, ya que los conductores intermedios en este caso serán de gusano doble, y la maceración se hará a todo lo largo del conductor, permitiendo con esto un mejor lavado y dilución del azúcar contenido en el bagazo, y debido al movimiento de mezcla dado por los gusanos habrá una completa homogenización de los líquidos de imbibición con el bagazo.

EXTRACCION EN EL SISTEMA DE PRENSAS:

Los cálculos se basan en los resultados experimentales de los ingenios donde existen estos equipos instalados (San Cristóbal y Adolfo López Mateos), y en los cuales se ha encontrado que no importando la humedad base húmeda de entrada (hasta un límite de aproximadamente 85%) siempre se obtienen humedades de salida que no exceden de 0.5. Basados en esa cifra y suponiendo una completa homogeneización del bagazo con los líquidos de imbibición, lo cual no está lejos de la realidad tomando en cuenta los mezcladores conductores usados y al hecho que en la prensa no hay rabsorción de jugo en el bagazo. Asumiendo la misma composición de caña usada en el sistema de molinos, y llamando a:

$$W_f = \text{fibra}$$

$$W_s = \text{sólidos solubles}$$

$$W_w = \text{Agua}$$

y tomando:

$$X\% = \text{Humedad del bagazo}$$

$$Y_1 = \text{peso de agua extraída}$$

$$W_w - Y_1 = \text{peso de agua en el bagazo}$$

$$\frac{W_s Y_1}{W_w} = \text{peso de sólidos extraídos}$$

$$\frac{W_s Y_1}{W_w} = \text{peso de sólidos en el bagazo}$$

tendremos para el peso total del bagazo:

$$(W_f) + (W_s - \frac{W_s Y_1}{W_w}) + (W_w - Y_1)$$

ó también:

$$\frac{W_w (W_f + W_s + W_w) - Y_1 (W_w + W_s)}{W_w}$$

La humedad del bagazo será, entonces:

$$X\% = \frac{(W_w - Y_1) W_w}{W_w(W_f + W_s + W_w) - Y_1 (W_w + W_s)}$$

de donde:

$$Y_1 = \frac{W_w (W_f + W_s + W_w) X\% - W_w^2}{(W_w + W_s) X\% - W_w} =$$

Nótese que $(W_f + W_s + W_w)$ es el peso de la caña W_C , y que $(W_w + W_s)$ es el peso del jugo por extraer W_j , de tal manera que para cada prensa W_C , puede cambiarse por W_t ó sea el peso total del bagazo más el líquido de imbibición, con lo cual se tiene el procedimiento general de cálculo para cualquier sistema de imbibición empleado.

De acuerdo con el razonamiento anterior, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras Nos. 13, 14, 15 y 16, para varias formas de imbibición, usando siempre la misma composición de caña y con 20% de agua de imbibición base caña, en función de los siguientes variables:

W_C = Cantidad de caña tratada	ton/ hora
W_f = Cantidad de fibra	ton/ hora
W_w = Cantidad de Agua	ton/ hora
W_s = Sólidos solubles	ton/ hora
W_{se} = Sólidos solubles extraídos	ton/ hora
W_{je} = Jugo extraído	ton/ hora
E = Extracción de sólidos	tanto por uno
f = Fibra por unidad de caña	tanto por uno

s = Sólidos por unidad de caña	tanto por uno
B _{je} = Brix del jugo extraído	tanto por uno
f _b = fibra en bagazo	tanto por uno
s _b = Sólidos en bagazo	tanto por uno
H _b = Humedad del bagazo	tanto por uno

Subscriptos

1, 2, 3 de la prensa 1, 2, 3

t, total

b, del bagazo

i, de imbibición

" CASO I "

$W_c = 208.33$
 $W_s = 35.42$
 $W_f = 27.08$
 $f = 0.130$
 $s = 0.170$

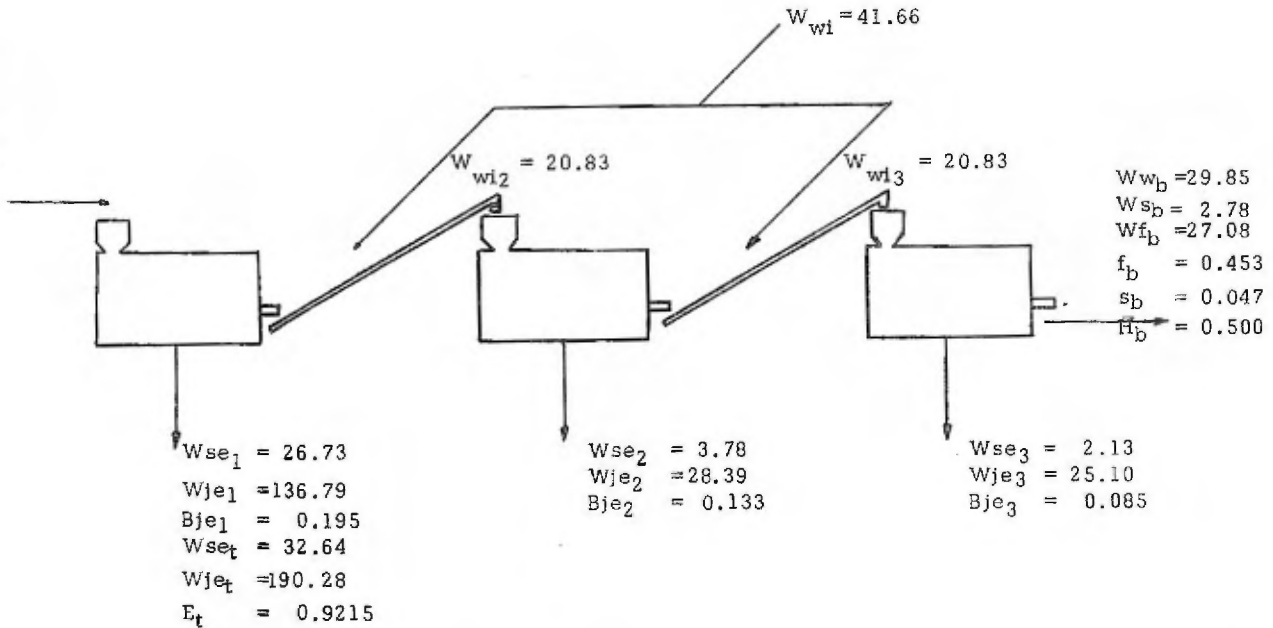


FIGURA No. 13

" CASO II "

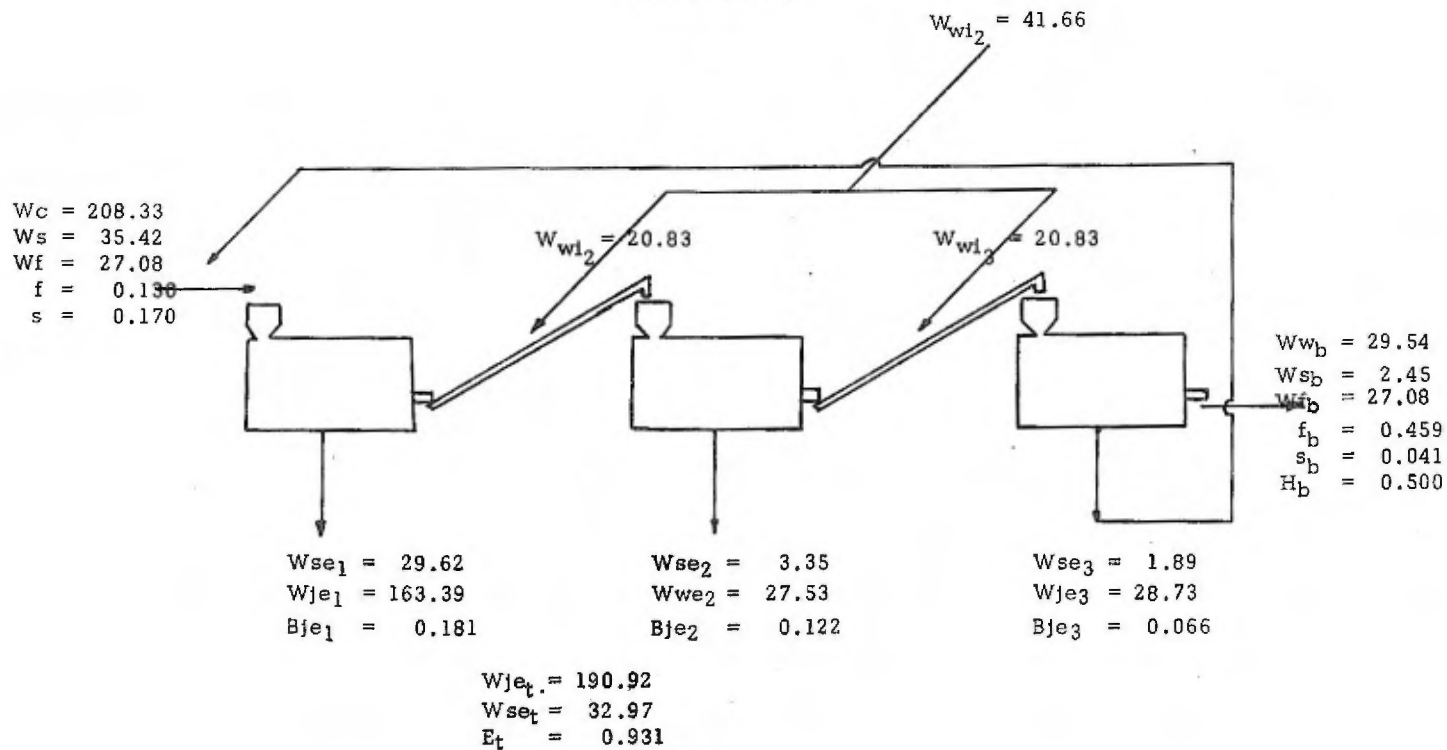


FIGURA No. 14

" CASO III "

$W_C = 208.33$
 $W_S = 35.42$
 $W_f = 27.08$
 $f = 0.130$
 $s = 0.170$

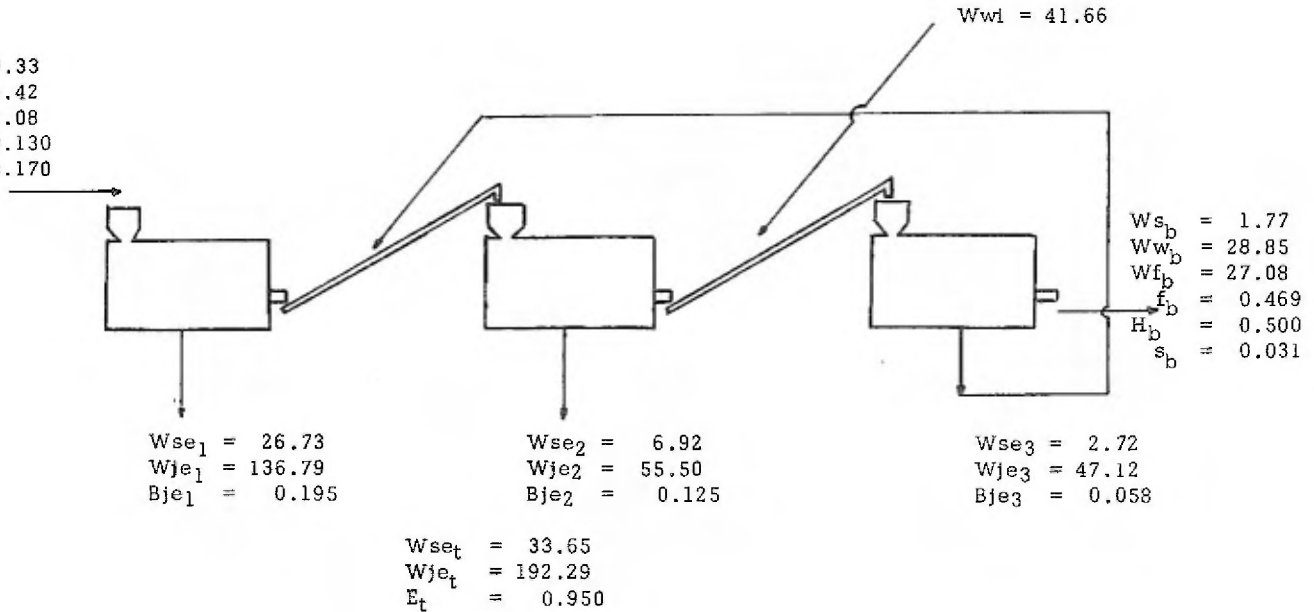


FIGURA No. 15

" CASO IV "

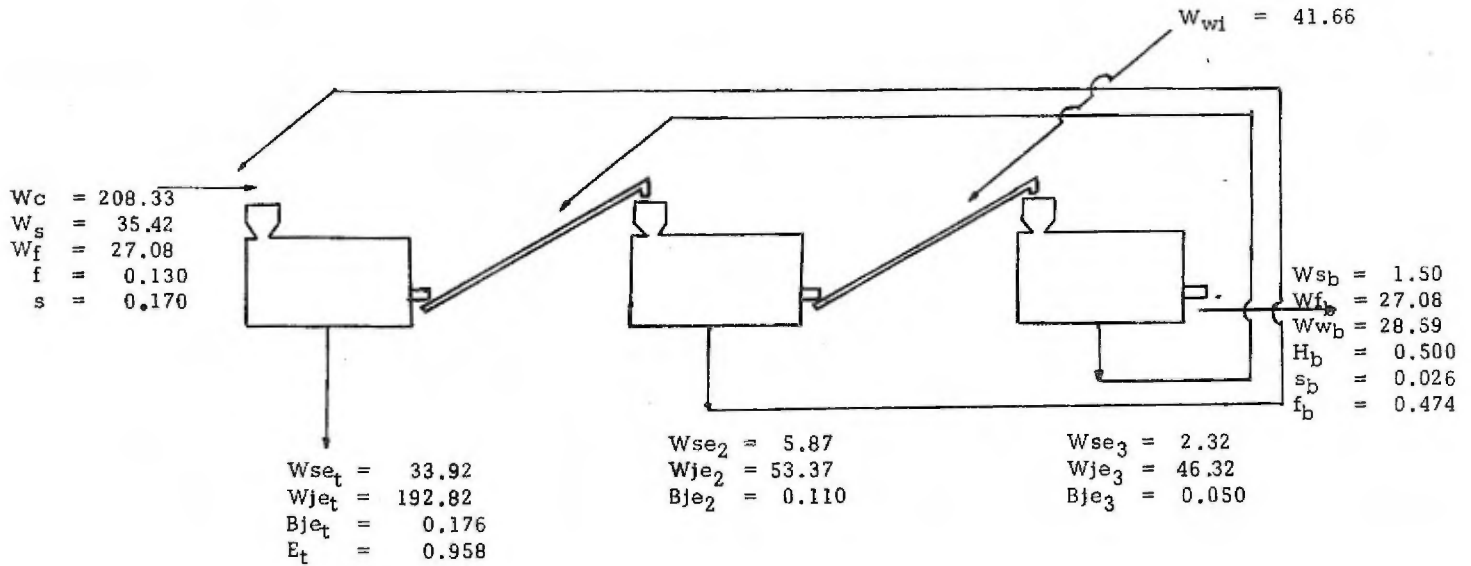


FIGURA No. 16

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES ECONOMICAS. -

En esta sección se hará una comparación de los costos entre ambos sistemas de extracción. Los datos fueron tomados de las cotizaciones mencionadas en la bibliografía e incluyen los costos de instalación y movimiento de los equipos cuando es requerido. Los precios aparecen en Moneda Nacional.

El equipo para preparar la caña, será el mismo para los dos sistemas de extracción y consta de:

Un Conductor principal de caña	\$1.750,000.00
Un Conductor auxiliar de caña	\$ 720,000.00
Dos Juegos de Cuchillas	\$3.000,000.00
Un Separador Magnético	\$ 500,000.00
Una Desfibradora	<u>\$2.000,000.00</u>
TOTAL	\$7.970,000.00

El Sistema de extracción por medio de Molinos consiste de:

Cin co Molinos de tres mazas incluyendo
sus conductores intermedios \$28.400,000.00

Para el Sistema de Prensado se tienen:

Tres transportadores intermedios de doble
gusano para alimentar a las prensas \$ 2.400,000.00

Tres prensas \$18.500,000.00

TOTAL \$20.900,000.00

COSTOS DE MANTENIMIENTO.-

Se ha encontrado de acuerdo con la experiencia de los ingenios que el costo de mantenimiento de un tren de molinos es de aproximadamente \$0.25 por - tonelada de caña molida para cada molino, lo cual indica un costo de aproximada- mente \$1,250.00 diarios para la capacidad considerada.

Para el sistema de prensado, los fabricantes garantizan que estos equi- pos operan con un mantenimiento no mayor \$0.50 por tonelada para cada prensa, - lo que equivaldría a aproximadamente \$7,500.00 diarios o menos para la capacidad considerada.

Sin embargo, no existe hasta la fecha ninguna instalación completa de - prensas que puedan verificar estos datos. Pero en las instalaciones combinadas de molinos y prensa, no se ha demostrado lo contrario.

I POTENCIA INSTALADA.-

Para la preparación de la caña la potencia instalada es la misma, para - ambos casos y es como sigue:

1.- Conductor principal de Caña, Motor		100 H. P.
2.- Conductor auxiliar de Caña, Motor		75 H. P.
3.- Cuchillas Rotatorias	2 Turbinas	1000 H. P.
4.- Desfibradora	Turbina	<u>900 H. P.</u>
TOTAL		2175 H. P.

II TREN DE MOLINOS.-

1.- Conductor de bagacillo en el		
Pachaquil Motor		50 H. P.
2.- Movimiento de los cinco Molinos		
cada uno con turbina de 950 H. P.		<u>4750 H. P.</u>
TOTAL		4800 H. P.

III SISTEMA DE PRENSADO.-

1.-	Conductores intermedios cada uno con motor de 200 H. P.	600 H. P.
2.-	Alimentador forzado de cada prensa con motor de 150 H.P.	450 H. P.
3.-	Movimiento de las tres prensas cada una con turbina de 1500 H.P.	<u>4500 H. P.</u>
	TOTAL	5550 H. P.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES

Se puede observar mediante los cálculos de extracción en ambos sistemas lo siguiente:

- 1.- Se ha encontrado que la extracción de sacarosa es mayor con un sistema de prensas que con un tren de molienda convencional, - con inversión menor.
- 2.- En lo que respecta a las potencias requeridas es definitivo que - actualmente las prensas consumen una mayor cantidad de potencia, tanto por unidad como en el tren completo. Sin embargo, a medida que este tipo de prensa de tornillo se vaya perfeccionando, es de esperarse que los caballajes requeridos irán disminuyendo, ya que ésto se ha logrado a través de las diferentes modificaciones efectuadas a la fecha.
- 3.- Definitivamente el costo de mantenimiento de un tren de molinos es menor por tonelada de caña tratada, en comparación con el sistema de prensado, ésto es debido a que el bagazo es extraordinariamente abrasivo con lo cual el sin fin de la prensa sufre un desgaste considerable zafra con zafra, pero actualmente se está buscando algún tipo de recubrimiento para el mismo y así bajar sus costos de mantenimiento.
- 4.- Referente a los costos de montaje, el tipo de cimentación y espacio requerido por un molino es mucho mayor.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA

Balkow, V. E., *Manufacture and Refining of Raw Cane Sugar*, Elsevier Publishing Company, New York 1967.

Hugot, E., *Handbook of Cane Sugar Engineering* Elsevier Publishing - - Company, New York 1960.

Perry, John H., *Chemical Engineer's Handbook*, Mc Graw Hill Company, Tokyo 1963.

Spencer - Meade, *Cane Sugar Handbook*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1963.

REVISTAS PUBLICACIONES Y MANUALES TECNICOS

Bradley, Kimbrough W., *The French Screw Press on Cush-Cush*, The Sugar Journal, March 1971.

De Armas, Luis; Tonarri, Enrique y Schaffer, C. Francis., *Operación of - Screw Press in Florida Mill*, The Sugar Journal, July 1970.

Fanjul Rafael, *The French Screw Press at Osceola Farms Co.*

Farrel Sugar Mills, Bulletin 312, Farrel-Birmingham Company Inc., Ansonia, Connecticut, U. S. A.

Manuales de Operación, Montaje y Mantenimiento de The French Oil Mill Machinery Co., Piqua, Ohio 1970.

Glades County Sugar Sugar Growers Cooperative Association, K-70 French

Bagasse Press Operating Data, Moore Haven, Fla. 1969.

Osceola Farms Co., K-70 French Bagasse Press Operating Data, - -
Pahokee, Fla., 1971.

S. Gordon Smart, Replacement of mills by Screw Press in the Cane Sugar
Industry.

Starret, Bert, Applications of the French Screw Press in the Sugar Cane
Industry and results of First Press at Grove Farm Co. Inc.

COTIZACIONES:

Conductores, Cadenas y Tablillas, S. A., Dr. E. González Martínez 287
México, D. F.

Cuchillas, Molinos y Separador Magnético, Fletcher and Stuart Ltd., Derby,
England.

Desfibradora, Gruendler Crusher and Pulverizer Co., St. Louis Missouri,
U. S. A.

Prensas, The Franch Oil Machinery Co., Piqua, Ohio, U. S. A.

Reductores, Lufkin Foundry and Machine, Co., Lufkin Texas, U. S. A.

Turbinas, Elliot Company, Jeannette Pa., U. S. A.