



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**AJUSTE DEL MOLINO DEL INGENIO  
TAMAZULA S. A.**

*EN LA FACULTAD DE QUIMICA  
RECIBIDA EN TAMPICO 1964*

**TESIS**

*Que para obtener el título de:*

**INGENIERO QUIMICO**

*PRESENTA:*

**MANUEL BAÑOS LOMELI**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS 1975  
LIBRO Tesis  
FECHA  
PROC. 116-35



QUIMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

Presidente: Prof. Héctor M. López Herrera.  
Vocal: Prof. José E. Galindo Fuentes.  
Secretario: Prof. Víctor M. Pérez Amador.  
1er. Suplente: Prof. Cutberto Ramírez Castillo.  
2o. Suplente: Prof. Jorge Mencarini Peniche.

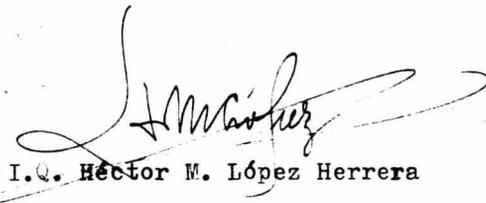
Sitio donde se desarrolló el tema: Ingenio Tamazula S.A.

Sustentante:



Manuel Baños Lomeli

Asesor del Tema:



I.Q. Héctor M. López Herrera

AGRADEZCO INFINITAMENTE LA COLABORACION Y CONSEJOS DE MI  
MAESTRO Y AMIGO I.Q. HECTOR PARKER V. (Q.E.P.D.) POR TODA  
LA AYUDA Y ALIENTO QUE DE EL RECIBI.

## INDICE

	Pag.
INTRODUCCION.	4
CAPITULO I INTRODUCCION A LA MOLIENDA	6
CAPITULO II DESCRIPCION DEL EQUIPO	14
CAPITULO III AJUSTE DEL MOLINO	23
CAPITULO IV DEMANDA DE VAPOR	53
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57

## I N T R O D U C C I O N

Es de todos conocida la importancia que tiene en la operación de un Ingenio Azucarero, el funcionamiento contínuo y satisfactorio de la planta moledora, para obtener una mayor extracción.

Una de las características fundamentales para una buena extracción de jugo de caña, depende fundamentalmente de encontrar las aberturas óptimas de las mazas, a la entrada y salida de cada molino (setting), así como la colocación de la cuchilla central.

Como el principal objetivo perseguido no ha sido el afinado de los molinos sino el aumento de sus capacidades; en muchas ocasiones, por mal cálculo de las aberturas, se han presentado diversidad de problemas en la extracción y no sólo en ésta, sino en el equipo en general, los que reditúan en el aumento del costo.

Observando esto, se atendió con especial interés la sugerencia que hiciera el I.Q. Héctor Parker V., en el sentido de tratar en una tesis profesional "El Ajuste de Molinos" de un Ingenio Azucarero, con el objeto de obtener un funcionamiento correcto del molino; es decir, una marcha regular sin atascamientos y con una extracción conveniente, que reditúe en un aumento en la capacidad de los molinos. Esto tendrá una influencia posterior en la conservación del equipo.

En las instalaciones existentes es muy común que la capacidad de molienda de la fábrica haya sido aumentada en exceso, de la capacidad original, y por lo tanto, en esos casos, la capacidad de los molinos ya no es suficiente; entonces se recurre a

cambiar las condiciones de operación en los molinos, y es aquí donde se requerirá el ajuste. Estos ajustes también se llevan a cabo cuando hay cambios en la calidad de la caña o por desgaste de las mazas; generalmente esto ocurre en cada nueva zafra.

Esta tesis se realizó en el Ingenio Tamazula, al encontrarme trabajando por la Secretaría de Industria y Comercio en calidad de Inspector de Ingenios.

Este trabajo se desarrolla en cinco capítulos:

- I.- Introducción a la Molienda.
- II.- Descripción del Equipo.
- III.- Cálculo de las Aberturas.
- IV.- Demanda de Vapor.
- V.- Conclusiones.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION A LA MOLIENDA.

El primer paso en el proceso fabril del azúcar de caña es la extracción de jugo, mediante la compresión de la caña entre cilindros de gran tamaño, denominadas mazas.

La extracción de jugo de caña ha sido siempre principalmente por presión, mientras que la obtención de jugo de remolacha es por medio de difusores. La molienda más primitiva de caña de azúcar se hacía con rodillos o cilindros de madera en posición vertical, que eran impulsados por tracción animal, por fuerza hidráulica o por molinos de viento.

Los primeros molinos fabricados en el mundo occidental, se hicieron en Sicilia en 1449, éstos consistían en dos rodillos únicamente en posición vertical. Posteriormente, se atribuye a Smeaton - en el siglo XVIII - el haber aplicado por primera vez tres rodillos horizontales (mazas) en la forma triangular, este arreglo se conserva hasta la fecha; algunos autores en la materia, sostienen que Smeaton también inventó el primer molino con propulsión a vapor, en Jamaica en 1847. Empero, Deer señala que la primera aplicación de la máquina a la molienda de caña, de que se tiene conocimiento, ocurrió en Cuba en 1797. En 1871, Rousselot introdujo el diseño que tienen las bases de la mayor parte de los molinos a la fecha; en el mismo año se emplearon las presiones hidráulicas en éstos. Los tándems (término utilizado generalmente en los Ingenios, al Departamento de Molinos) de seis mazas, es decir, compuestos de dos juegos de molinos de tres mazas, dispuestos en serie, se utilizaron por primera vez

en Cuba en 1883; y la primera unidad de nueve mazas que se instaló en el mundo, fué al mismo tiempo en Louisiana y Australia. La introducción de motores accionados a base de vapor, fué al final del siglo XVIII, y las velocidades bajas de la máquina se mantuvieron estándar, hasta que en 1947 fueron introducidas pequeñas turbinas de vapor.

El molino, en la actualidad, consiste esencialmente en tres mazas, en posición horizontal, dispuestos en forma triangular. La estructura de las mazas, es una flecha de acero macizo, el cual está revestido con una capa de hierro fundido.

Estas tres mazas se conocen respectivamente por "mayor" o "superior", la cual va arriba de las otras dos; "cañera", sobre la cual pasa la caña al entrar al molino; y, "bagacera", aquella sobre la cual pasa el bagazo al salir del molino. Los dos rodillos inferiores están fijos en su sitio. El superior, controlado por un ariete hidráulico, sube y baja, flota según las variaciones en la alimentación de caña. La caña exprimida, llamada ahora bagazo, es conducida desde la abertura entre los rodillos superior y cañero hasta la abertura entre el superior y bagacero, por medio de una lámina o placa curva que se llama cuchilla; esta placa se soporta por medio de una pieza fuerte de acero. Piezas macizas de fundición, llamadas vírgenes, soportan las mazas. La fuerza motriz se transmite al rodillo superior, por medio de acoplamientos flexibles, y los engranajes (coronas) que van montados en los extremos de los ejes de los rodillos (guijos) mueven las mazas, recibiendo los dos rodillos inferiores, movimiento de la corona del rodillo superior.

En la actualidad, se usan de tres a siete juegos de tales unidades de tres mazas, llamados respectivamente, tándem de nueve mazas y tándem de veintiun mazas. Las mazas varían en dimen-

siones, promediando 91.5 cm. de diámetro y 183 cm. de largo. Lo habitual es que cada molino sea movido por una unidad motriz individual, que puede ser una máquina de vapor, un motor eléctrico o en unidades de instalación reciente, una turbina de vapor; se instalan adicionalmente, desmenuzadoras, cuchillas cañeras y transportadores intermedios.

Consideraciones teóricas elementales, relativas a la extracción del jugo de la caña, demuestran claramente que el procedimiento de la molienda en un tándem o trapiche (término cubano) moderno, está integrado por varias acciones físicas, conceptualmente distintas e independientes, que son concurrentes y se amalgaman en un conjunto rítmico y continuo.

Los principales fenómenos físicos que conducen a la finalidad de extraer la sacarosa contenida en las células vivas en la caña, son:

- 1.- El desgarramiento de las paredes de las células.
- 2.- El estrujamiento de la caña desintegrada, mediante la presión acompasada, en virtud de la cual se exprime de las células rotas, el guarapo en ellas contenido.
- 3.- La dilución, mediante la mezcla con agua añadida, del sobrante de jugo no extraíble por la presión solamente.

En condiciones ideales, la desintegración debería lograr la rotura de todas las células de la caña, y anteceder a la aplicación de presión, puesto que solamente de las células rotas es mecánicamente posible exprimir el guarapo; en este caso, la tarea de la presión quedaría limitada a la extracción solamente; y, finalmente, el agua de imbibición debería mezclarse completa y homogéneamente con el guarapo residual en el bagazo después de cada estrujamiento.

En la práctica, ninguna de estas condiciones se cumple perfectamente, aunque todas parecen ser mecánicamente alcanzables y hacia su realización económica se dirigen los estudios de los ingenieros de molinos.

La eficiencia global de la extracción es la resultante de las eficiencias individuales de las acciones físicas separadas que la componen; y, por lo tanto, todo aporte que contribuya a hacer factible la descomposición metódica de la molienda en sus partes integrantes principales, tiene una utilidad potencial inquestionable.

El funcionamiento de un tándem moderno es complejo. Si bien la finalidad perseguida es única y sencilla, en cambio los factores involucrados en alcanzarlas son varios y distintos, a saber: La desintegración de la caña, el estrujamiento por presión, la dilución del jugo residual, la reabsorción y la capilaridad y elasticidad de la fibra. Por los medios usuales de control, es relativamente fácil evaluar el trabajo global de un tándem, es decir, determinar hasta qué grado el tándem, en conjunto, haya logrado su cometido; pero este dato no satisface las necesidades del ingeniero, quien desea siempre superarse en la eficiencia de la molienda. Para este fin es preciso saber descomponer el valor global en sus componentes, que son montos de incremento o de merma, aportados en cada etapa del proceso por cada una de los factores integrantes. Sólo así, puede el ingeniero localizar prontamente las causas de deficiencia y planear a ciencia cierta, como moderarlas. Por lo tanto, todo aporte que contribuya a hacer factible la descomposición metódica de la molienda en sus principales operaciones elementales, tiene un alto valor potencial.

El azúcar elaborada fotosintéticamente en las hojas, se almacena en los tallos de la caña, la molienda tiene por objeto,

extraerle de dicho depósito, ya que toda azúcar está disuelta en el jugo que está íntimamente mezclado con la fibra, en las diferentes partes del tallo; incumbe al tándem separar estos dos componentes de la caña; es interesante hacer notar que, para los fines prácticos del caso no existe diferencia alguna, puesto que en teoría se considera al tándem como extractor de jugo o como purificador de la fibra.

Al tratar de efectuar esta separación, la primera complicación tiene su origen en las propiedades biológicas de las células como integrantes de un organismo viviente. Las paredes de las células se componen de celulosa pura o combinada químicamente con compuestos afines.

Cuando se produce la muerte fisiológica de las células, ya sea por calentamiento o deshidratación con alcohol u otros reactivos, queda destruido el revestimiento protoplasmático y la difusión de la sacarosa se efectúa fácilmente. En cambio, mientras permanezcan vivas las células, es indispensable romper sus paredes para poder extraer posteriormente el jugo a presión.

Por la repetición de presión se logra extraer una parte importante del guarapo de las células turgentes, que es justamente el guarapo más denso y rico de la caña. Durante muchos siglos, hasta hace unos 80 años, el aplastamiento de los tallos entre las mazas lisas de un molino era el recurso corriente, pero la práctica moderna utiliza **procedimientos** más eficaces, habiéndose desarrollado las técnicas de la **desintegración** y de la imbibición para aumentar la extracción de sacarosa. Puesto que la presión exorime guarapo solamente de células rotas, es evidente que la **desintegración** de las células de la caña, **deba** anteceder a la aplicación de presión, y que el límite máximo de extracción obte

nible está fijado por la eficiencia de desintegración lograda.

Sin considerar como se logra la desintegración, suponemos ahora que se le consiga debidamente antes de que la caña desmenuzada entre al primer molino. Bajo el impacto veloz que rompe las células, una porción del guarapo contenido en ellas se escurre por las aberturas hechas en sus paredes, pero si no se aplica presión de inmediato, este guarapo exprimido es reabsorbido rápidamente por la fibra. La caña perfectamente desintegrada es una masa esponjosa, homogéneamente saturada de jugo que al ser tocada, da la sensación de estar muy mojada, pero, no obstante ésto, chorrea líquido únicamente al ser apretada, bastando una levísima presión para que lo haga. Si el jugo exprimido no es alejado antes que cese la presión, queda absorbido totalmente por la masa fibrosa al dilatarse ésta.

La capacidad absorbente de la fibra de caña es un factor muy importante en la eficiencia de la molienda. Es una función directa del porcentaje volumétrico de la fibra en el bagazo, y de la capilaridad de dicha fibra. El porcentaje volumétrico de la fibra, depende de la eficiencia extractiva del tándem, y del volumen específico de la fibra misma, siendo éste, probablemente una función varietal de la caña. A su vez, la capilaridad de la fibra, es una función de la proporción en ella de las células rotas parcialmente descargadas, puesto que las intactas y repletas no absorben líquido, hecho experimentalmente demostrable introduciendo en un recipiente lleno de jugo, una lámina de caña pelada que no haya sido estrujada. Entonces el poder absorbente de cualquier bagazo está en relación directa con el grado de desintegración y de extracción; y, por lo tanto, cuanto más eficientemente funciona un tándem, tanto más es la probabilidad de reabsorción.

"Noeel Deerr", en su clásica teoría matemática de la molienda, presupone que, con la desintegración completa, la fibra resultante, estando sometida la presión máxima aplicable en el tándem, retiene una cantidad de jugo igual a su propio peso. Asume, que el bagazo final tenga 50 % de fibra y 50 % de jugo residual. Siendo imposible, por medio puramente mecánico, reducir más el porcentaje de jugo en el bagazo final; el recurso práctico que se presenta para extraer más sacarosa de la caña es la dilución del jugo residual, por efecto de la imbibición.

En la molienda seca, cada nueva compresión, aunque sea efectivamente la misma que la anterior, extrae un pequeño incremento de jugo. Indudablemente una parte de estos incrementos proviene de células que, habiendo entrado intactas en la presión anterior fueron rotas por ellas, pero cedieron su jugo recién extraído bajo la compresión siguiente. Otra parte puede atribuirse a la extracción de guarapo previamente exprimido, pero reabsorbido por el bagazo. En los primeros instantes de apretura las vasijas se contraen, evacuando una parte de su contenido, pero al acentuarse la compresión, aprietan y estrangulan unas a otras, de tal suerte que, una parte del jugo que debería salir, de acuerdo con la Ley de Poiseuille, queda retenido por la obstrucción producida. Librado de presión, el bagazo se dilata en el conductor intermedio, la obstrucción desaparece, el guarapo que fué retenido en una parte de cada vasija capilar, corre libremente y se distribuye en todo el largo del tubo, con el resultado neto que durante la siguiente compresión se repite el fenómeno anterior. Una porción del jugo escapa y el resto queda retenido por una nueva obstrucción en los capilares. Y esto se repite indefinidamente, disminuyéndose la cantidad retenida progresivamente hasta llegar a ser sin sentido práctico.

Resumiendo las consideraciones teóricas, vemos que la extracción del guarapo por un tándem moderno, está integrado por varias acciones físicas, conceptualmente distintas e independientes, que son concurrentes y se amalgaman en un conjunto rítmico y continuo.

Los principales fenómenos físicos son:

- 1.- El desgarramiento de la pared de las células.
- 2.- El estrujamiento de la caña así desintegrada, mediante la presión acompasada en virtud del cual se exprime de las células rotas el guarapo en ellas contenido.
- 3.- La dilución, mediante la mezcla con agua añadida, del sobrante del jugo no extraíble por la presión solamente.

Bajo condiciones ideales, la desintegración debería lograr la rotura de todas las células de la caña, y anteceder a la aplicación de presión, quedando así limitada la tarea de la presión a la extracción solamente, sin incluir la rotura de células; y, finalmente, el agua agregada debería mezclarse completa y homogéneamente con el guarapo residual del bagazo, después de cada estrujamiento.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo de molienda, cuenta con tres juegos de cuchillas Krajewski, el primero con 34 hojas de 58 cm. de longitud cada una, accionado por motor eléctrico Siemens de 500 H.P., trabaja a 500 R.P.M. y gira en sentido contrario a la dirección del conductor auxiliar; el segundo juego de 34 hojas de 58 cm. de longitud cada una, accionado por turbina de vapor Worthington de 750 H.P., trabaja a 500 R.P.M.; el tercer juego de 34 hojas de 58 cm de longitud cada una, accionado por motor eléctrico Allis-Chalmers, de 300 H.P., trabaja a 500 R.P.M. Hay además dos niveladores para la caña, uno después del segundo juego de cuchillas y el otro después del tercer juego de cuchillas, ambos trabajan a 70 R.P.M., y son accionados por motores eléctricos de 30 H.P. cada uno. El tándem está compuesto de una desmenuzadora Fulton de dos mazas y seis molinos; 20 mazas en total. Los molinos números uno y dos son Bancroft y los otros cuatro son Fulton. La desmenuzadora de 108 x 183 cm. y los molinos con mazas de 94 x 183 cm. La desmenuzadora movida por turbina Murray de 700 H.P. y los molinos movidos por tres turbinas de vapor Murray de 1400 H.P. los cuales están provistos de rodillos de alimentación forzada y acumuladores hidráulicos Edwards. Una prensa French, de bagacillo modelo L-77L movida por motor eléctrico de 500 H.P. El tándem cuenta con un sistema de lubricación central automático Farval. Se emplea un 15 % de agua en un sistema de imbibición compuesto. Ver Figura 1.

GALLEGOS.- A pesar de que la caña se pasa con mucho cuidado del repartidor al conductor, ésta siempre se escapa en montones

desiguales que es necesario emparejar, lo que se hace con los gallegos. Estos constan de un eje montado sobre el conductor a poca distancia del repartidor, provistos de piezas de hierro parecidas a las cuchillas rotativas, sin filo, giran a poca velocidad y su fin es emparejar la caña en el conductor a fin de que lleve una altura uniforme para facilitar así el trabajo de las cuchillas rotativas, que recibéndola en un colchón uniforme son más eficientes. Generalmente, los gallegos son movidos por medio de una transmisión por cadena con electromotor, aunque ésta puede ser también accionada por medio de una máquina de vapor.

CUCHILLAS ROTATIVAS.- Las cuchillas rotativas tienen por objeto picar la caña para así facilitar el trabajo de la desmenuzadora. Constan de un eje horizontal montado sobre el conductor de caña, sobre dos cojinetes, el cual es movido generalmente por un electromotor acoplado directamente, o por cadena silenciosa o por correa, según los casos. Las cuchillas van montadas en dicho eje, en forma de cruz y son de hierro dulce, y la parte cortante del filo se forma con soldadura especial, a fin de hacerlas más resistentes.

Altura de las Cuchillas: Hasta ahora no hay una regla fija para determinar la altura que deben tener las cuchillas sobre las tablillas del conductor. En algunos ingenios se montan las cuchillas a 15 cm. (6") de distancia del conductor, en otros a 5.1 cm. (2") y hasta 3.8 cm. (1.5"); pero es indudable que, mientras más bajas se monten las cuchillas, la eficiencia ha de ser mejor; de 5.1 cm. (2") a 7.6 cm. (3") es una altura conveniente, y en algunos casos, distancia menor ha dado buenos resultados.

DESMENUZADORA.- La desmenuzadora consta de dos mazas, profundamente ranuradas, de las que depende, más que de ninguna otra parte, la preparación de la caña.

Se usan actualmente dos tipos de desmenuzadoras: la Fulton y Krajewski. Los dientes de las mazas tienen la forma de V y se hallan dispuestos en forma de espiral a una distancia de 3.6 cm. (1.45") a 7.6 cm. (3"), unos de otros, cuyas espirales trabajan a los lados opuestos de las mazas.

Las desmenuzadoras, cualesquiera que sea su tipo, pueden ser movidas por medio de una máquina de vapor, un electromotor o acoplada por medio de engranes a la máquina o motor que dá movimiento a los molinos.

La desmenuzadora es la que recibe la caña ya preparada por las cuchillas rotativas que aumentan la capacidad de molienda en un 10 % a 15 %.

Las mazas de las desmenuzadoras, así como la estructura integrante son de hierro fundido especial; las coronas y demás engranes pueden también ser de hierro fundido; pero actualmente, los equipos suelen tener esas piezas de acero con los dientes fresados.

MOLINOS.- Un molino consta de tres mazas convenientemente rayadas, montadas sobre vírgenes de acero fundido. Los molinos se encuentran montados unos a continuación de otros y entre ellos se hallan los conductores intermedios, para pasar el bagazo de uno a otro molino.

La Figura 2 muestra la posición exacta de las mazas en la virgen con su correspondiente cuchilla, que lleva un dispositivo de palanca para graduar la posición más conveniente de la misma, una vez en marcha. La maza por donde entra el bagazo, que procede del molino anterior, se denomina maza cañera o de entrada; la maza que está en el mismo plano inferior, por donde sale el bagazo al molino siguiente, se denomina maza bagacera o de salida,

y la maza de arriba se denomina maza superior o mayor, que es la que lleva la presión hidráulica.

MAZAS.- Se denomina así tanto las de la desmenzadora como las de los molinos, pues sólo se diferencian en la clase de rayado. Generalmente, las mazas tienen un diámetro variable según el fabricante, entre 81.3 cm. a 91.5 cm. (32"-36") de diámetro para las mazas de las desmenzadoras y entre 89 cm. a 94 cm. (35"-37") de diámetro para las mazas de los molinos, y desde 152cm. a 213 cm. (5'-7') de longitud para todas.

Las mazas de los molinos constan de un tambor de hierro fundido en cuyo interior llevan un guijo de acero metido a una presión muy alta, por medio de prensa hidráulica; a ambos lados sobresale el guijo, la longitud suficiente para el acoplamiento de las coronas, el apoyo de los cojinetes y la rueda dentada que dá movimiento al conductor intermedio. El guijo de la maza mayor es el de más longitud porque es el que recibe la fuerza, por medio de un cople.

En las mazas de los molinos se trata que la superficie de ellas permanezca rugosa o adquiera grano con el uso, para facilitar así la entrada de la caña o bagazo.

RAYADO DE LAS MAZAS.- En general, todas las mazas llevan ranuras periféricas en forma de V, y las dimensiones de éstas se han aumentado para evitar o reducir el resbalamiento. Antiguamente se usaban de tres a cuatro hilos o ranuras por cada 2.54 cm. (1") lineal, para las mazas de los últimos molinos; la práctica moderna aconseja un mínimo de dos hilos por cada 2.54 cm. (1"). En los últimos molinos, hace tiempo que se empezó a usar el rayado de un hilo por cada 2.54 cm., y posteriormente se usó en todos los molinos con resultados positivos, por lo que actualmente se continúa usando el rayado de un hilo para todos los molinos.

En algunos ingenios, la maza mayor lleva, además del rayado de un hilo en cada 2.54 cm., ranuras en dirección longitudinal, como en las mazas de las desmenuzadoras Fulton. En ángulo interior del rayado o hilo es de 55°. En algunos tándem que trabajan a gran capacidad se usan los primeros molinos con hilos de 3.8 cm. (1.5") hasta 5.1 cm. (2") entre las ranuras, y estos molinos trabajando como si fueran desmenuzadoras.

Además del rayado descrito, se usan en los molinos las ranuras tipo Meschaert de 0.635 cm. (1/4") de ancho, 4.45 cm. (1.75") de profundidad y 5.1 cm. a 10.2 cm. (2"-4") de separación entre ellas, con 7.6 cm. (3") como promedio de separación.

Para mantener las ranuras del tipo Meschaert, limpias, se usan raspadores especiales en forma de peines.

RASPADORES.- Los raspadores se aplican a la maza mayor y a la bagacera ajustándose su rayado al de aquellos, con el propósito de mantener las mazas limpias. Estos raspadores se mantienen en contacto con la maza correspondiente por medio de unos tornillos tensores, de hierro fundido y van ensamblados a una plancha de hierro para darles la anchura necesaria, formando así un brazo de palanca para mantenerlos en contacto con la maza. El raspador así ensamblado va montado en un eje o pieza cuadrada a la que se acopla debidamente el brazo de palanca del tornillo tensor que obliga al raspador a mantenerse en contacto con la maza. De esta forma, las mazas indicadas, son peinadas para evitar que el bagacillo se les pegue, por lo cual, a los raspadores también se les denomina peines.

BANCAZOS.- Los bancazos están constituidos por unas piezas de hierro fundido, sobre los cuales van montadas las vírgenes. Los bancazos situados debajo de los molinos tienen forma cóncava y se le suele denominar platos, que sirven para recibir el guara

po que sale de las mazas. Cuando los platos son individuales, cada uno está provisto de su correspondiente canal de hierro para dar salida al guarapo y el mismo se mezcla en la parte de afuera; cuando los platos son comunes o corridos, se comunican entre sí de una forma conveniente y el guarapo se puede separar en clases con una división entre los platos que se deseen clasificar. Los bancazos, generalmente son contruídos en secciones, uniéndose por medio de juntas entre molinos. Los bancazos son las primeras piezas que se montan en la instalación de un tándem de molinos, asegurándose la fundación con los correspondientes tornillos.

VIRGENES.- La virgen suele ser una pieza entera de hierro o acero, sujeta a los bancazos, sobre la que se apoyan las tres mazas en sus correspondientes cojinetes, fijándose las mazas en posición, llevan unas tapas sujetas por medio de potentes tornillos a la virgen. Dichas tapas llevan un tornillo central que sirve para fijar la posición exacta del cojinete de bronce en el cual gira la maza. La concavidad superior de la virgen es donde se aloja la maza superior, sobre la cual va el cojinete correspondiente y sobre éste va montado convenientemente el cilindro con su émbolo o pistón para la presión hidráulica. La base de la concavidad superior, donde descansa el cojinete de la maza mayor es radial, por lo cual, la mitad inferior del cojinete es semicircular exteriormente, y la parte superior del mismo es cuadrado exteriormente, que es donde se verifica el apoyo del pistón hidráulico, el cual lleva una empaquetadura de cuera de copo para obturar y evitar la salida del aceite.

COJINETES.- Estos van colocados en las concavidades de las vírgenes; están contruídos generalmente de bronce. Llevan interiormente una ranura, para la circulación del aceite, debiendo estar bien engrasados para evitar su calentamiento. Las chumace-

ras o cojinetes llevan una copilla para aceite a fin de mantener la lubricación en ellos. Estas copillas son especiales con tapa de rosca, y no hay más que apretar ligeramente ésta para que se produzca una pequeña presión en el interior de la copilla que obliga a la grasa a penetrar en el cojinete manteniendo el engrase. También suelen llevar circulación de agua convenientemente dispuesta por medio de tuberías adecuadas o de mangueras especiales. La maza mayor lleva cojinete completo, es decir, abarca todo el contorno o diámetro del guijo, mientras que los cojinetes de las mazas cañera y bagacera no abarcan más que la mitad del diámetro, denominándose chumaceras o cojinetes de media caña; llevan un reborde exterior para que encaje en el asiento a fin de que no se salgan hacia los lados.

A fin de que el lubricante se reparta de un modo uniforme en toda la extensión, se hace una ranura siguiendo la generatriz del cojinete, estando el orificio de entrada al centro. Sin embargo, se prefiere hacer estas ranuras en forma diagonal.

RODILLOS ALIMENTADORES.- El alimentador consiste en un tambor de acero hueco, que puede ser llenado con agua o arena para aumentar su peso de acuerdo con las condiciones necesarias. El rodillo está sostenido por dos brazos oscilantes, con sus chumaceras integrales, que permiten un movimiento radial. Siempre que se necesite inspeccionar la entrada del molino, sólo habrá que moverlo radialmente hasta dejarlo descansar sobre los lados del conductor intermedio. Estos rodillos se localizan a la entrada de cada molino y reciben el movimiento por cadena de la maza superior.

Colocados en los conductores intermedios, los alimentadores normalmente trabajan en la posición más baja que les permite un soporte fijo. Cuando el colchón de bagazo aumenta, levanta el

alimentador y el peso de éste es ejercido sobre el bagazo, obligando a pasar un colchón uniforme hacia la entrada del molino. Debido a este trabajo, es posible obtener una alimentación máxima, que dá por resultado un mejor trabajo del molino y un aumento en la producción.

CONDUCTORES INTERMEDIOS.- Sirven para conducir el bagazo de un molino al otro. Los conductores intermedios constan de cadenas especiales; hay dos tipos de cadenas usadas en los conductores intermedios a las cuales se atornillan las tablillas de acero. Los conductores intermedios son accionados por la maza de entrada, o cañera, del mismo molino que recibe el bagazo, por medio de ruedas dentadas para cadenas; el dispositivo lleva una retranca de embrague que se utiliza para controlar el movimiento, cuando así convenga al conductor intermedio. Por ejemplo, cuando hay una parada corta en los molinos, se paran los conductores intermedios por medio de la retranca, y se dejan las máquinas a baja velocidad.

Todos los conductores intermedios llevan a cada lado una guarda de hierro para evitar que el bagazo se salga del conductor, y la tendencia es hacer lo más cortos que sean posibles los conductores a fin de ocupar un espacio mínimo en el tándem, al mismo tiempo, se reduce el costo inicial y el mantenimiento ya que con los conductores más cortos se empleará menos material en su construcción, así como en la reparación de los mismos.

ACUMULADORES HIDRAULICOS.- Antiguamente se usó la presión de muelles, tanto en la desmenuzadora como en los molinos; pero este sistema ha desaparecido por completo para dar paso al sistema moderno de presión hidráulica. Cada molino está provisto de un émbolo sobre la maza mayor, el que comunica por medio de tuberías apropiadas de alta presión con el acumulador hidráulico, el

cual es el que mantiene la presión sobre las mazas de los molinos de una forma regular y continua.

## CAPITULO III

### AJUSTE DEL MOLINO.

Es importante establecer las aberturas de trabajo correctas de un molino, ya que es uno de los factores que más influye en la eficiencia del mismo. La diferencia que existe en el trabajo de un molino cuando sus aberturas son apropiadas y el que realiza, cuando las mismas son inadecuadas, es enorme y se puede traducir en grandes pérdidas de dinero.

Son muchos los factores que hay que tener en cuenta para determinar las aberturas de trabajo de un molino. Existe una fórmula análítica, que permite el preestablecimiento de las mismas para un molino que opera bajo determinadas condiciones, pero no se puede ignorar algunos factores circunstanciales que no están incluidos en dicha fórmula, y que sin embargo, influyen en aquéllas, obligando en algunas ocasiones apartarnos de los valores calculados.

Lo más conveniente es calcular las aberturas de trabajo, basado en los datos de que disponemos, y después, en la práctica, si fuese necesario, se deben ir ajustando con arreglo a los re--resultados obtenidos. La observación y la experiencia serán el complemento indispensable; en muchas ocasiones, los valores encontrados por los cálculos responden a plenitud, aplicándose sin modificación alguna; pero otras veces, existen factores y condiciones especiales de trabajo que nos llevan a alterar las aberturas calculadas. En resumen, podemos afirmar que es el propio funcionamiento del molino en cuestión, lo que nos dirá si las aberturas de trabajo escogidas son las correctas o no. Claro está, que

para un individuo con poca experiencia resulta difícil determinar a simple vista si un molino está funcionando eficientemente. Pero en ese caso, mediante pruebas de extracción de sólidos, se puede llegar a determinar el grado de eficiencia del mismo. No se debe olvidar tampoco que la eficiencia de extracción de un molino no depende sólo de las aberturas de trabajo del mismo, sino que en ocasiones obedece a otras razones, tales como, presiones aplicadas y eficacia de las mismas, sistemas de maceración empleado, grado de preparación de la caña, uniformidad de la alimentación, velocidad con que se mueve, etc.

De lo anterior se desprende, que el establecimiento de las aberturas adecuadas para un molino es sólo uno de los numerosos factores que pueden influir en la eficiencia con que el mismo trabaja, pero siendo aquellos prácticamente constantes y fácilmente controlables, queda supeditado a dichas aberturas la máxima responsabilidad de la eficiencia de un molino. De aquí la importancia capital que lleva su determinación correcta.

En el cálculo teórico de la abertura viva a la salida de un molino, intervienen los siguientes factores:

- a) Cantidad de caña que se quiere moler.
- b) Porcentaje de fibra en caña.
- c) Composición cuantitativa del bagazo, en lo que se refiere a % de humedad y fibra, a la salida del molino.
- d) Velocidad lineal o periférica de la maza superior.
- e) Longitud de las mazas de dicho molino.

A estos factores les denominaremos directos.

Los factores directos antes mencionados, son los que aparecen en la fórmula que permite calcular las aberturas de trabajo de los distintos molinos; pero existen otros, que a veces están

presentes para el caso considerado, y que no pueden pasar desapercibidos, y a los que llamaremos indirectos, porque no participan en la fórmula. Tales son:

- 1.- Naturaleza del material de que están hechas las mazas y la cuchilla central.
- 2.- Posición correcta de la cuchilla central.
- 3.- Facilidad del drenaje del jugo extraído.
- 4.- Dispositivos para mejorar la alimentación a la entrada del molino.
- 5.- Angulo correcto de la estera intermedia en la zona de entrega al molino entre el eje nariz y el eje motriz, así como separación apropiada de la maza superior para evitar los atoros.
- 6.- Método de maceración empleado y cantidad de líquido de imbibición.
- 7.- Otros factores, tales como condiciones mecánicas del molino, adición de cachaza a los molinos, cantidad excesiva y mala distribución del bagacillo, etc.

Antes de deducir la fórmula que nos proponemos, vamos a hacer las siguientes designaciones:

- W = Cantidad de caña, en toneladas, que se quiere moler en 24 horas.
- F = Fibra % caña.
- v = Velocidad lineal periférica de la maza superior, en m/min.
- L = Longitud de las mazas del molino, en m.
- F' = Fibra % bagazo a la salida de cada molino.
- H = Humedad % bagazo a la salida de cada molino.
- $b_w$  = Peso específico del bagazo a la salida de cada molino,  $\text{Kg/m}^3$ .

$f_w$  = Peso específico de la fibra seca a la salida de cada molino, en Kg/m<sup>3</sup>.

$h_w$  = Peso específico de la parte líquida del bagazo a la salida de cada molino, en Kg/m<sup>3</sup>.

$A_s$  = Abertura de trabajo a la salida de molino, en cm.

$A_e$  = Abertura de trabajo a la entrada del molino, en cm.

$R = A_e/A_s$  = Relación o cociente entre la abertura de trabajo a la entrada y abertura de trabajo a la salida del molino.

$K$  = Separación, en cm., que se produce entre la maza superior de un molino y las mazas inferiores cuando aquella flota para trabajar en su posición normal.

$S_e$  = Setting o abertura muerta a la entrada del molino, en cm.

$S_s$  = Setting o abertura muerta a la salida, en cm.

$Q_f$  = Cantidad de fibra que pasa por todos los molinos, en Kg/min.

$Q_b$  = Cantidad de bagazo que sale de cada molino, en Kg/min.

$V_b$  = Capacidad volumétrica o volumen en tránsito de bagazo, a la salida de cada molino, en m<sup>3</sup>/min.

✓  
DEDUCCION DE LA FORMULA QUE PERMITE CALCULAR LA ABERTURA DE TRABAJO A LA SALIDA DE UN MOLINO CUALQUIERA.

De acuerdo con la anotación indicada anteriormente, y omitiendo algunas explicaciones, tenemos que:

a) Cálculo de la cantidad de fibra molida, en Kg/min.

$$Q_f = \frac{1000 \times W \times F}{100 \times 24 \times 60}$$

b) Cálculo de la cantidad de bagazo a la salida de cada mo-

lino, en Kg/min.

$$Q_b = \frac{100 Q_f}{F'} = \frac{1000 \times W \times F}{F' \times 24 \times 60}$$

c) Cálculo de la capacidad volumétrica o volumen en tránsito del bagazo a la salida de cada molino, en m<sup>3</sup>/min.

$$V_b = \frac{Q_b}{b_w} = \frac{1000 \times W \times F}{24 \times 60 \times F' \times b_w}$$

d) Cálculo de la abertura de trabajo a la salida de cada molino, en cm.

$$A_s = \frac{V_b}{v \times L} = \frac{1000 \times W \times F}{1440 \times F' \times b_w \times v \times L}$$

Multiplicando por 100 para transformar los m. a cm. tendremos:

$$A_s = \frac{1000 \times W \times F}{14.4 \times F' \times b_w \times v \times L}$$

Si hacemos:

$$M = \frac{W \times F}{14.4 \times v \times L}, \text{ y } N = \frac{1000}{F' \times b_w}$$

La fórmula anterior es la que nos permite calcular la abertura de trabajo a la salida de un molino cualquiera, sustituyendo las letras por sus valores correspondientes. Los settings o aberturas, en reposo se obtienen restando K a los correspondientes valores de A<sub>s</sub> encontrados.

Segundo: Discusión de la fórmula.

$$A_s = \frac{W \times F}{14.4 \times v \times L} \times \frac{1000}{F' \times b_w} = M \times N$$

Consideremos por separado cada uno de los factores que intervienen en dicha fórmula, exponiendo no sólo su significado, sino el intervalo de variación que puede sufrir cada uno de ellos en la práctica y su influencia en los resultados obtenidos.

a) Cantidad de caña W molida en las 24 horas, en toneladas.

Es evidente que la abertura de trabajo  $A_S$  de un molino, tiene que estar en razón directa con la cantidad de caña molida en el día, tal como se aprecia en la fórmula, suponiendo, desde luego, que los demás factores permanecen constantes. Es decir, a mayor cantidad de caña molida por unidad de tiempo, mayores tendrán que ser las aberturas entre las mazas, siempre que se mantengan invariables otros factores, tales como velocidad, fibra % en caña, fibra % en bagazo a la salida de cada molino.

En la práctica no se pueden estar variando frecuentemente los setting de los molinos, puesto que las operaciones a realizar resultan engorrosas y dilatadas. De suerte, cuando se desea, transitoriamente aumentar o disminuir la cantidad de caña molida lo que se hace es aumentar o disminuir, respectivamente, la velocidad de las máquinas que mueven los distintos molinos,

Cuando se va a calcular la abertura de trabajo, hay que suponer la cantidad de caña que se va a moler.

b) Porcentaje de fibra en caña.

Como se puede apreciar en la fórmula, las aberturas de trabajo de los molinos son directamente proporcionales al porcentaje  $F$  de fibra en la caña. Esto es de suponer, puesto que los molinos lo que realmente muelen es fibra. A más contenido de fibra en la caña, mayores tendrán que ser las aberturas entre las mazas, en el supuesto de que todos los demás factores permanezcan constantes.

Como las aberturas de trabajo hay que fijarlas antes de comenzar a moler, y en cuyo cálculo intervienen principalmente el porcentaje de fibra en caña, ocurrirá que cuando ésta varíe en el curso de la zafra, aquéllas también tienen que cambiar en consecuencia con esas fluctuaciones de la fibra. Esto se consigue perfectamente en la práctica de dos maneras: una, mediante el ajuste automático de las aberturas de trabajo a los nuevos requerimientos, gracias a la libertad de la maza superior para flotar; y la segunda manera de conseguirlo es: mediante el recurso de variar ligeramente las velocidades lineales periféricas de las mazas conforme a la demanda del contenido de fibra, si ello fuese necesario por presentarse el caso de una diferencia notable en el % de fibra en la caña durante el mismo período de zafra.

la variación del % de fibra en la caña, al moler diferentes variedades, o cañas de distinta madurez o condiciones físicas, se advierte fácilmente en el movimiento continuo de las placas de los acumuladores hidráulicos, lo que es un índice del autoajuste de las aberturas de trabajo del molino. Para calcular la abertura de trabajo de un molino, hay que suponer el contenido de fibra en la caña, por lo que se asigna un valor determinado basado en zafras anteriores.

c) Velocidad lineal periférica de las mazas del molino en cuestión.

De acuerdo con la fórmula ya descrita, las aberturas de trabajo de los molinos están en razón inversa a la velocidad lineal periférica de las mazas de los mismos, lo cual quiere decir que manteniendo los demás factores constantes, a mayor velocidad lineal periférica de las mazas, menor tendrá que ser la abertura necesaria para dar paso a un volumen determinado de bagazo, y lo contrario ocurrirá cuando aquella velocidad sea menor.

Es evidente que la cantidad de fibra, en peso, que pasa por cada molino es la misma para todos ellos en cualquier unidad de tiempo que se considere. Sin embargo, y debido a los distintos grados de compresión a que está sometida dicha fibra, conforme a las condiciones de trabajo del molino considerado, ocurre que los volúmenes son diferentes. Entonces hay que darle las aberturas más convenientes entre las mazas para que permitan pasar el volumen correspondiente a la salida de cada molino.

Ahora bien, la capacidad volumétrica o volumen en tránsito que corresponde a una abertura de trabajo determinada por la descarga del molino, no sólo depende del valor de dicha abertura, medida como distancia de punta a fondo entre el rayado de la maza superior y la bagacera, y de la longitud de la maza, todo lo cual determina el área de la sección por donde tiene que salir el bagazo, sino de la superficie descrita en la unidad de tiempo por la maza superior en su movimiento de rotación. Y como la superficie desarrollada por un tambor giratorio depende principalmente de la velocidad lineal, tendremos entonces que a fin de cuentas, éste es uno de los factores más importantes que intervinen en la determinación de las aberturas de trabajo, puesto que la capacidad volumétrica está subordinada directamente a él. El diámetro que debe tomarse para calcular la velocidad lineal de la maza superior de un molino, lo correcto es tomar el diámetro medio correspondiente a un tambor imaginario, de manera que el círculo descrito por el extremo de dicho diámetro se corresponda o sea equivalente al descrito por el centro de gravedad resultante de las distintas áreas parciales que determinan la sección efectiva por donde pasa el bagazo. Decimos que esto es lo correcto porque en la práctica nos encontramos frecuentemente con mazas de distinto diámetro y rayados, y por lo tanto, el diámetro medio es el verdaderamente representativo. Sin embargo, y

con miras a ahorrarnos el procedimiento de calcular el diámetro medio, que es tedioso y siendo tan pequeña la diferencia entre los valores encontrados para las aberturas de trabajo, por el método basado en el diámetro medio y el que se funda en el diámetro exterior de la maza superior, es por lo que siempre empleamos este último para determinar la velocidad lineal. En efecto, para una diferencia de 2.54 cm. (1"), encontrada entre el diámetro exterior de una maza y el diámetro medio correspondiente, para un molino de 198 cm. (78") de longitud y girando éstas a 6.22 R.P.M., y para una capacidad volumétrica de  $0.525 \text{ m}^3/\text{min.}$ , tenemos que la diferencia de abertura es de 0.033 cm., lo que resulta despreciable.

d) Longitud de las mazas del molino considerado.

Suponiendo que los demás factores que aparecen en la fórmula se mantienen constantes, entonces la relación entre la abertura de trabajo y la longitud de las mazas, es inversa, lo cual quiere decir que mientras más longitud tengan las mazas, más pequeñas tienen que ser las aberturas de trabajo, para dejar pasar un volumen fijo de bagazo.

e) Composición cuantitativa del bagazo, en lo que se refiere a % de fibra y humedad, a la salida del molino.

Por la fórmula que permite calcular la abertura de trabajo a la salida de un molino; nos percatamos que dicha abertura varía en razón inversa al % de fibra en bagazo y al peso específico de éste, en el supuesto de que los otros factores se mantengan invariables. Conviene aclarar que cuantas veces hemos hablado de bagazo en párrafos anteriores, nos hemos estado refiriendo a la caña molida desde el mismo instante en que sale de la desmenuzadora, o sea, después de haber sufrido el primer estrujamiento

y su correspondiente extracción de jugo. A medida que avanza ese colchón en la serie de molinos, va progresando el estado de desmenuzamiento y compresión de la caña, y consecuentemente con ello, va variando cuantitativamente la composición del bagazo.

Esa composición del bagazo a la salida de cada molino, hace que  $F'$  y  $b_w$  sean distintas de uno a otro, y los que van aumentando a medida que se avanza hacia el último molino, dependiendo sus valores principalmente del grado de preparación de la caña antes de llegar al primer molino, y de la magnitud y efectividad de las presiones aplicadas.

APLICACION DE LA FORMULA INTEGRAL QUE PERMITE CALCULAR LAS ABERTURAS DE TRABAJO EN EL "INGENIO TAMAZULA", EN LA PRÁCTICA, Y OBTENCION DE GRAFICOS AUXILIARES.

Cuando se va a calcular la abertura de trabajo  $A_s$  correspondiente a la salida de un molino, necesitamos conocer de antemano todos aquellos datos que aparecen en la fórmula ya descrita, de los cuales la mayoría está relacionada con las condiciones mecánicas propias y de operación del molino en cuestión, y con las condiciones o naturaleza de la caña que se va a moler. Así, por ejemplo, necesitamos saber: 1) La cantidad de caña  $W$ , en toneladas que se desea moler en las 24 horas; 2) El % de fibra  $F$  que tiene la caña; 3) La velocidad lineal periférica  $v$  de la maza superior, en m/min.; y la que está subordinada a la velocidad de rotación de la máquina, al tren de engrane y al diámetro de aquella; 4) La longitud  $L$  de las mazas, en m.; 5) El % de fibra  $F'$  que tiene el bagazo a la salida del molino, lo que depende de la naturaleza de la caña, del grado de preparación de la misma antes de llegar al primer molino, de la secuencia del molino en el tándem, de las presiones aplicadas y de la eficiencia con que

trabaja dicho molino; 6) El peso específico del bagazo  $b_w$ , que depende prácticamente de las mismas condiciones apuntadas en el inciso 5.

En la práctica, lo que se hace es asumir para cada molino un valor distinto de  $F'$ , según el grado de preparación con que recibe la caña el primer molino del tándem y de acuerdo con el % de fibra con que sale el bagazo del último molino. Lo ideal es realizar determinaciones periódicas de fibra en bagazo a la salida de cada molino, durante la zafra, utilizando el método de lavado y compresiones sucesivas hasta privarlo de todo vestigio de jugo y sólidos disueltos. De esta manera se encuentra para  $F'$  valores que se acercan a la realidad. Entonces el % de humedad  $H$  o parte líquida, estará dado por  $H = 100 - F'$ . Partiendo de esta base, se pueden tomar para la zafra siguiente los valores promedios encontrados para  $F'$ .

El peso específico del bagazo, estará dado por:

$$b_w = F' \times f_w + H \times h_w$$

En la práctica es bastante difícil determinar el peso específico de la fibra seca del bagazo a la salida de cada molino, en el instante que sufre la presión correspondiente a la maza bagacera, puesto que ello exige cuidadosos y repetidos experimentos. Lo que se hace es asumir ciertos valores que dependen naturalmente, del % de fibra que contiene ese bagazo, de la secuencia del molino y de las presiones aplicadas. La diferencia del peso específico de la fibra seca del bagazo entre dos molinos consecutivos es mayor en los primeros de la serie, y se va haciendo menor a medida que se avanza hacia el último molino. Esto se explica porque la fibra es un material comprensible, es decir, goza de la propiedad de sufrir variaciones de volumen cuando se

somete a distintas presiones, y por consiguiente su peso específico también está sujeto a tales fluctuaciones. Pero, esta propiedad tiene su límite, y llega un momento en el cual apenas se manifiesta. En consecuencia, la aplicación de presión en el molino sobre el colchón de bagazo, reducirá su volumen hasta un punto a partir del cual el bagazo actuará como un cuerpo rígido, y será prácticamente imposible comprimirlo más. Naturalmente que este punto es difícil de determinar y cambiará con la variedad de la caña y su grado de preparación. Como el líquido forma parte del bagazo, es prácticamente incomprensible; de lo anterior se infiere que es la fibra la que absorbe esas variaciones de volúmenes al aplicarse presiones cada vez mayores y avanzar el estado de desmenuzamiento de la fibra, hasta que en los últimos molinos su comportamiento se va acercando al de un cuerpo rígido. Sin embargo, no existe tanta diferencia en el peso específico del líquido que acompaña a la fibra seca, para integrar el bagazo entre ambos. Dicho peso específico del líquido que acompaña a la fibra seca, es un poco mayor en el jugo retenido en el bagazo a la salida de la desmenuzadora y de los primeros molinos, lo que se explica por el mayor brix.

Así, para el Ingenio Tamazula, que cuenta con tres juegos de cuchillas, una desmenuzadora y seis molinos, se pueden asumir como aceptables los valores anotados en la tabla uno. (Fueron datos proporcionados por el laboratorio del Ingenio).

Conociendo ya los valores de los distintos factores que intervienen en la fórmula ya descrita, podemos calcular la abertura de trabajo que corresponde a la salida de cada molino. Para esto, es necesario conocer la existencia de caña en campo y así, determinar las toneladas de caña que se desean moler por día.

La capacidad del tándem se obtiene por la siguiente fórmula:

$$W = 0.55 \times \frac{c \ n \ L \ D^2 \ N}{F}$$

W = Capacidad del tándem en Ton./hr.

F = Fibra de la caña con relación a la unidad. (14.4 %)

c = Cociente relativo a los aparatos de preparación = 1.25

n = Velocidad de rotación de los cilindros en R.P.M. = 7.13

L = Longitud de los cilindros = 1.83 m.

D = Diámetro de los cilindros = 0.94 m.

N = Número de cilindros del tándem = 20

Sustituyendo valores, tendremos:

$$W = 0.55 \times \frac{1.25 \times 7.13 \times 1.83 \times 0.93 \times 20}{0.144}$$
$$= 315.40 \text{ Ton./hr}$$

Considerando que se tiene en campo 1.050,000 toneladas de caña para elaborar, y tomando en cuenta el tiempo perdido en zafas anteriores, y sabiendo que la capacidad máxima del tándem es de 7,570 toneladas por día, se considera que con una molienda diaria de 7,000 Ton./día, se elaborará dicha caña en 150 días.

#### CALCULOS NUMERICOS:

Sabemos que la abertura de trabajo para la salida de un molino está dada por:

$$A_s = \frac{W \times F}{14.4 \times v \times L} \times \frac{1000}{F' \times b_w} = M \times N$$

Como el valor de F en nuestro caso, es constante e igual a 14.4 simplificamos la ecuación haciendo el cociente de F/14.4= 1

Por lo tanto, la ecuación será:

$$A_s = \frac{W}{v \times L} \times \frac{1000}{b_w \times F'} = M \times N$$

Sustituyendo valores para la desmenuzadora, tenemos:

$$M = \frac{7000}{1.83 \times v} = \frac{3825.14}{v}$$

Para v = 21.40 Mt/min.	M = 178.74	Desmenuzadora
" v = 17.40 " "	M = 219.89	Molino I
" v = 17.27 " "	M = 221.52	Molino II
" v = 17.72 " "	M = 215.88	Molino III
" v = 19.55 " "	M = 195.71	Molino IV
" v = 19.54 " "	M = 195.80	Molino V
" v = 20.77 " "	M = 184.18	Molino VI

Operando con N:

$$N = \frac{1000}{F' \times b_w}$$

Para F' = 24.00 y b <sub>w</sub> = 1123.50 Kg/m <sup>3</sup>	N = 0.0370	Desmenuzadora
" F' = 35.00 " b <sub>w</sub> = 1171.75 " "	N = 0.0244	Molino I
" F' = 41.00 " b <sub>w</sub> = 1203.75 " "	N = 0.0201	Molino II
" F' = 46.00 " b <sub>w</sub> = 1251.90 " "	N = 0.0174	Molino III
" F' = 48.00 " b <sub>w</sub> = 1300.00 " "	N = 0.0160	Molino IV
" F' = 50.00 " b <sub>w</sub> = 1348.20 " "	N = 0.0150	Molino V
" F' = 52.00 " b <sub>w</sub> = 1396.35 " "	N = 0.0140	Molino VI

Multiplicando los valores correspondientes de M y N, tendremos las aberturas de trabajo buscadas.

$A_S = M \times N = 6.61$	Desmenuzadora
$A_S = M \times N = 5.37$	Molino I
$A_S = M \times N = 4.45$	Molino II
$A_S = M \times N = 3.76$	Molino III
$A_S = M \times N = 3.13$	Molino IV
$A_S = M \times N = 2.94$	Molino V
$A_S = M \times N = 2.54$	Molino VI

El cálculo de las aberturas de trabajo a la entrada del molino, se basa en la relación o cociente R que debe existir entre la abertura de entrada y la salida, cuando el molino se encuentra trabajando, y cuya elección queda al arbitrio del maquinista de acuerdo a su experiencia.

$$A_e = A_s \times R$$

Partiendo de las aberturas de trabajo y asumiendo la separación K que regularmente se produce entre la maza superior y las inferiores cuando aquélla flota para adquirir su posición normal de trabajo, encontraremos fácilmente, mediante una simple operación de resta, los setting o aberturas en reposo.

$$S_s = A_s - K$$

$$S_e = A_e - K$$

Las aberturas de entrada son, tomando en consideración las relaciones de 1.8; 1.9; 2.0; 2.1; 2.2; y 2.3 respectivamente para los molinos I, II, III, IV, V, y VI.

$$A_e = 5.37 \times 1.8 = 9.67 \text{ cm.} \quad \text{Molino I}$$

$$A_e = 4.45 \times 1.9 = 8.46 \text{ cm.} \quad \text{Molino II}$$

$$A_e = 3.76 \times 2.0 = 7.52 \text{ cm.} \quad \text{Molino III}$$

$$A_e = 3.13 \times 2.1 = 6.57 \text{ cm.} \quad \text{Molino IV}$$

$$A_e = 2.94 \times 2.2 = 6.47 \text{ cm.} \quad \text{Molino V}$$

$$A_e = 2.54 \times 2.3 = 5.84 \text{ cm.} \quad \text{Molino VI}$$

Los setting a la entrada y a la salida son:

$$S_s = 6.61 - 1.905 = 4.705 \text{ cm.} \quad \text{Desmenuzadora}$$

$$S_s = 5.37 - 1.270 = 4.100 \text{ cm.} \quad \text{Molino I}$$

$$S_s = 4.45 - 1.016 = 3.434 \text{ cm.} \quad \text{Molino II}$$

$$S_s = 3.76 - 0.889 = 2.871 \text{ cm.} \quad \text{Molino III}$$

$$S_s = 3.13 - 0.889 = 2.241 \text{ cm.} \quad \text{Molino IV}$$

$$S_s = 2.94 - 0.889 = 2.051 \text{ cm.} \quad \text{Molino V}$$

$$S_s = 2.54 - 0.889 = 1.651 \text{ cm.} \quad \text{Molino VI}$$

$$S_e = 9.67 - 1.270 = 8.400 \text{ cm.} \quad \text{Molino I}$$

$$S_e = 8.46 - 1.016 = 7.440 \text{ cm.} \quad \text{Molino II}$$

$$S_e = 7.52 - 0.889 = 6.631 \text{ cm.} \quad \text{Molino III}$$

$$S_e = 6.57 - 0.889 = 5.681 \text{ cm.} \quad \text{Molino IV}$$

$$S_e = 6.47 - 0.889 = 5.581 \text{ cm.} \quad \text{Molino V}$$

$$S_e = 5.84 - 0.889 = 4.981 \text{ cm.} \quad \text{Molino VI}$$

Todos los datos anteriores se incluyen en la tabla No. I

Se utilizaron las siguientes relaciones para los demás cálculos.

$$N = \frac{\text{R.P.M. máquina motriz}}{\text{relación de engranajes}}$$

$$v = \text{II} \times \text{diámetro maza superior} \times N$$

#### OBTENCION DE GRAFICOS AUXILIARES:

En la fórmula intervienen tres factores, que son  $V$ ,  $F'$ , y  $b_w$ , cuyos valores difieren de un molino a otro, o sea, son variables, en tanto que:  $W$ ,  $F$  y  $L$  se mantienen constantes para to-

dos los molinos; por lo tanto,  $M$  y  $N$  son funciones de ciertas variables y susceptibles de ser representadas gráficamente. En efecto, sustituyendo para el primer caso, los distintos valores de  $v$  que aparecen en la tabla I, en la fórmula  $M = 3825.14/v$ , y representando en un sistema de coordenadas cartesianas los valores encontrados para  $M$ , tendremos el gráfico I. De la misma manera para el segundo caso, en que  $N = 1000/F' b_w$ , sustituyendo los distintos valores de  $F'$  y  $b_w$  que aparecen en la tabla I, y representados en un sistema de coordenadas cartesianas, los valores encontrados para  $N$ , tendremos el gráfico II.

Una vez confeccionados los gráficos, resultan de gran utilidad práctica, especialmente el II, que tiene mayor vigencia puesto que se puede aplicar durante varios años, mientras que las condiciones de operación del mismo, y la preparación de la caña se mantengan invariables. Sin embargo, el gráfico I variará cada vez que se cambie uno o más de los factores de los que depende  $M$  y los cuales son muy susceptibles de sufrir variación de un año a otro. A veces se pretende moler más, y entonces cambia  $W$ ; otras veces hay que asumir un valor distinto para  $F$ , debido a la variedad preponderante de caña o a sus condiciones físicas; y con relación a  $v$ , es el factor que está más expuesto a variar de un año a otro, en virtud de los desgastes y cambios de mazas que siempre se producen. Por lo tanto, es casi seguro que todos los años haya que hacer un gráfico nuevo para  $M$ .

#### GRAFICOS REGULADORES DE LAS VELOCIDADES DE LAS MAQUINAS DE UN TANDEM EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE CAÑA QUE SE QUIERE MOLER.

En el departamento de molienda, con mucha frecuencia se tropieza con la necesidad de tener que reducir la molienda, debido a un sinnúmero de causas, tales como: escasez de caña, rotura o

falla mecánica, o saturación de la casa de calderas, incapacidad del equipo evaporador, etc. En otras ocasiones, cuando las condi ciones son mejores, se va al aumento de molienda siempre que sea posible y que no haya muchas limitaciones. En otras palabras, con frecuencia se ven obligados a salirse del ritmo normal de mo lienda, unas veces por arriba y otras por abajo. Para ello, siem pre nos valemos del control de uno de los factores que intervie ne en la fórmula que nos da el valor de la abertura de trabajo a la salida de un molino. Dicho factor es la velocidad lineal peri férica de la maza superior del molino considerado.

En efecto, lo que se hace es regular la velocidad de las distintas máquinas que mueven los molinos del tándem, de acuerdo con la cantidad de caña que se desea moler en un período de tiem po determinado, y con ésto, implícitamente queda regulada la ve locidad periférica de los distintos molinos. Esto se hace empíri camente de acuerdo con la experiencia. Se sabe, por ejemplo, que para moler cierta cantidad de caña, hace falta que las distintas máquinas se muevan a tales velocidades. Pero ocurre que a veces son muy pocos los que se percatan de ello, se consigue moler sin problemas, conforme a las velocidades fijadas arbitrariamente, pero con el inconveniente de que las mazas superiores adoptan una posición flotante que se aleja, ya sea por encima o por deba jo, de la que se considera normal en ellas. Es decir, que flotan demasiado o poco, apartándose de lo que se previó cuando se hizo el cálculo de los settings. Esto hace que dichas mazas pierdan la alineación correcta a que deben trabajar.

Para evitar que ocurra lo anterior, a lo que estamos expues tos en virtud de la forma empírica de fijar las velocidades de las distintas máquinas, se recomienda la confección de un gráfi co para cada máquina, en el que la velocidad angular de la misma

sea una función de la cantidad de caña que se desea moler. Dicho gráfico se obtiene de la fórmula que vamos a deducir a continuación, partiendo de aquella mediante la cual se calcula la abertura de trabajo a la salida de un molino, y que se ha discutido anteriormente. En efecto, sabemos que:

$$A_s = \frac{W \times F}{v \times L} \times \frac{1000}{F' \times b_w \times 14.4} \quad (1)$$

$$\text{Por otra parte, sabemos que: } v = II D n \quad (2)$$

Donde n es la velocidad angular de la maza superior, en R.P.M.

Si Z es la relación de engranajes de cada molino, y N la velocidad angular de la máquina que lo mueve, en R.P.M., entonces tendremos que:  $N = Z n$ , de donde:  $n = N/Z$ .

Sustituyendo en (2):

$$v = \frac{N}{Z} II D$$

Sustituyendo a su vez en (1):

$$A_s = \frac{1000 Z W F}{II D N L F' b_w 14.4}$$

De donde:

$$N = \frac{F Z}{A_s II D L F' b_w} \times \frac{1000 W}{14.4} \quad (3)$$

En la fórmula anterior tenemos que:

N = Velocidad angular, en R.P.M. de la máquina que mueve el molino considerado.

F = Fibra % en caña.

- Z = Relación de engranaje del molino en cuestión, cuyo valor queda determinado por el número de dientes de los piñones y catalinas.
- $A_S$  = Aberturas a que debe de trabajar la maza bagacera del molino, en cm., y que debemos procurar se mantenga lo más constante posible para que la flotación de la maza superior permanezca a un nivel también constante.
- D = Diámetro exterior de la maza superior, en cm.
- L = Longitud de las mazas, en cm.
- F' = Fibra % en bagazo a la salida del molino considerado.
- $v_w$  = Peso específico del bagazo a la salida del molino, en  $Kg/m^3$ .
- W = Cantidad de caña que se quiere moler las 24 hs., en Ton.

En la práctica ocurre comunmente, que una misma máquina puede mover uno, dos o tres molinos; por lo tanto, la fórmula 3 se aplicará una sola vez para cada máquina, independientemente del número de unidades que la misma mueve. Para ello, se puede partir de los datos correspondientes a cualquiera de dichos molinos y siempre el resultado obtenido para N será el mismo, lo que se explica, ya que en el cálculo de las aberturas de trabajo de cada uno de esos molinos, intervino la velocidad angular de la máquina, común a los mismos.

En el cuadro 2 van incluidos los datos que corresponden a cada uno de los molinos y a la desmenuzadora del tándem del presente trabajo, en que la caña tiene un 14.4 % de fibra.

Sustituyendo los valores de la Tabla II en la fórmula 3, tendremos para las distintas máquinas del tándem considerado:

- a.- Velocidad angular de la máquina que mueve la desmenuzadora.

$$N = \frac{F Z}{A_s II D L F' b_w} \times \frac{1000 W}{14.4}$$

$$N = 239 \times 12.25 = 2929 \quad \text{Desmenuzadora.}$$

b.- Velocidad angular de las turbinas que mueven los molinos.

$$N = 279.90 \times 12.25 = 3416 \quad \text{Molino I}$$

$$N = 282.65 \times 12.25 = 3450 \quad \text{Molino II}$$

$$N = 287.23 \times 12.25 = 3514 \quad \text{Molino III}$$

$$N = 288.50 \times 12.25 = 3529 \quad \text{Molino IV}$$

$$N = 292.35 \times 12.25 = 3580 \quad \text{Molino V}$$

$$N = 295.32 \times 12.25 = 3618 \quad \text{Molino VI}$$

c.- Para una molienda diaria de 7000 Ton/día tendremos:

Turbina Desmenuzadora .. .. .	2950 R.P.M.
Turbinas Molinos I y II .. .. .	3450 "
Turbinas Molinos III y IV .. .. .	3550 "
Turbinas Molinos V y VI .. .. .	3600 "

#### REPRESENTACION GRAFICA DE LAS VELOCIDADES ANGULARES DE LAS DISTINTAS MAQUINAS EN FUNCION DE LAS CANTIDADES DE CAÑA MOLIDA.

Al hacer un análisis de las ecuaciones anteriores, para determinar la velocidad angular de cada una de las máquinas que mueven los molinos y la desmenuzadora, en función de la caña que se desea moler, vemos que se trata de ecuaciones de primer grado, carentes de términos independientes, y por lo tanto, su representación gráfica será la línea recta que pasa por el origen de coordenadas. Al graficar los datos anteriores, anotaremos en el eje de las abscisas, los millares de toneladas de caña que se

quieren moler en 24 hs., y en las ordenadas aparecen las R.P.M., a que tienen que moverse las máquinas o turbinas motrices, para poder moler la cantidad de caña requerida. Gráfica III.

### DISEÑO Y AJUSTE DE LA CUCHILLA CENTRAL.

La cuchilla central tiene por objeto conducir el colchón de bagazo desde la abertura de entrada de las mazas cañera y superior, hasta la abertura de salida de las mazas superior y bagacera. La forma de la cuchilla debe de hacerse de modo que produzca el mínimo gasto de potencia; o sea, lograr un flujo continuo de bagazo con la mínima fricción que sea posible. La abertura de la plancha guía del bagazo, no es susceptible de una solución lógica matemática.

Si la cuchilla central está demasiado alta, la carga de la maza superior es también grande, desgastándose la plancha al absorber potencia, y obstruye el paso de modo que se estrangula la abertura de la cañera que no es alimentada de forma apropiada.

Si la cuchilla central está demasiado baja, el bagazo que pasa sobre ésta, no es comprimido lo suficiente, impidiendo la molienda de la maza superior y se envuelve sobre la misma, resultando un estrangulamiento en la maza bagacera.

Sobre el ajuste de la cuchilla central, se ha escrito bastante y se han llegado a determinar los límites de las relaciones de áreas de entrada de cuchillas y de mazas, más adecuados para colocar las cuchillas correctamente y obtener una operación satisfactoria.

En las cuchillas centrales, los cálculos teóricos de las aberturas se refieren siempre a los diámetros medios de las mazas superiores y a la cara superior de las cuchillas.

Para muchos ingenieros, el mejor sistema de colocación de la cuchilla es el método de Java, propuesto por Muller Von Czornicky y Gogelein, que fija la abertura de entrada de la cuchilla y determina una pendiente o caída de la misma del 6 % del ancho de la cuchilla y prácticamente corresponde a una pendiente de 1/16 por cada pulgada de ancho, o sea, que una cuchilla de 8" de ancho debe tener 1/2 de pendiente desde la abertura de entrada hasta la abertura de salida.

Este método es aplicable a los rayados grandes para altas moliendas con velocidad alta de las mazas. Los siguientes datos de colocación o ajuste de las cuchillas centrales son:

1.- El área de entrada de la cuchilla en operación debe ser del 35 % mayor que el área de entrada de las mazas, para el primer molino, o sea, un factor de 1.35.

2.- El área de entrada de la cuchilla en operación debe ser del 40 % mayor que el área de entrada de las mazas para todos los molinos del tándem, excepto los dos últimos, o sea, un factor de 1.40.

3.- El área de entrada de la cuchilla en operación debe ser del 50 % mayor que el área de entrada de las mazas, para los dos últimos molinos del tándem, o sea, un factor de 1.50.

4.- La pendiente o caída de la cuchilla debe ser de 1/16" por cada pulgada de ancho de la misma.

5.- La separación de la cola de la cuchilla de la maza baga cera o el drenaje de la cuchilla, debe estimarse de manera que el área de esta abertura sea del 70 % al 80 % del área de la abertura de entrada de las mazas.

Para el Ingenio Tamazula, que cuenta con 20 mazas, se han propuesto los factores de ajuste de las cuchillas siguientes:

UNIDAD MOLEDOORA:	Mol.I	Mol.II	Mol.III	Mol.IV	Mol.V	Mol.VI
Factor de Ajuste	1.45	1.45	1.45	1.45	1.50	1.50

Para definir correctamente la posición de la cuchilla, es necesario conocer:

- a) La posición del punto P, donde la punta de la cuchilla toca al cilindro de entrada.
- b) La distancia A, de la punta al cilindro superior.
- c) La distancia B, de la cuchilla al cilindro superior, tomada sobre el plano axial vertical de ese cilindro.
- d) La distancia C, del talón de la cuchilla al cilindro superior. Figura 3.

AJUSTE ABERTURAS DE ENTRADA DE LA CUCHILLA CENTRAL EN OPERACION.

Tomando en cuenta los factores de ajuste ya mencionados anteriormente tenemos que:

$$F_A = \frac{A'}{A_e} \therefore A' = A_e \times F_A$$

Donde:

A' = Abertura de entrada de la cuchilla central en operación.

A<sub>e</sub> = Abertura de entrada de mazas en operación.

F<sub>A</sub> = Factor de Ajuste.

A' = 1.45 x 9.67 = 14.02	Molino I
A' = 1.45 x 8.46 = 12.27	Molino II
A' = 1.45 x 7.52 = 10.90	Molino III
A' = 1.45 x 6.57 = 9.53	Molino IV
A' = 1.50 x 6.47 = 9.38	Molino V
A' = 1.50 x 5.84 = 6.76	Molino VI

AJUSTES ABERTURAS EN REPOSO.

Para la colocación práctica de las cuchillas hay que restar de las aberturas en operación, el valor del levantamiento de la maza superior F, y la mitad de la profundidad de los dientes del rayado de la maza superior H/2 para tener los ajustes o aberturas en reposo referidos a la punta de los dientes de la maza superior.

$$A_c = A' - ( F + H/2 )$$

$A_c = 14.02 - ( 1.27 + 4.7625/2 ) = 10.37$	Molino I
$A_c = 12.27 - ( 1.02 + 4.7625/2 ) = 8.87$	Molino II
$A_c = 10.90 - ( 0.89 + 4.4450/2 ) = 7.79$	Molino III
$A_c = 9.53 - ( 0.89 + 4.4450/2 ) = 6.46$	Molino IV
$A_c = 9.38 - ( 0.89 + 4.4450/2 ) = 6.27$	Molino V
$A_c = 8.76 - ( 0.89 + 4.4450/2 ) = 5.65$	Molino VI

AJUSTES CENTRALES "B" DE LA CUCHILLA EN REPOSO.

En el caso del ajuste central de la cuchilla en reposo, o sea, la que corresponde al plano vertical que pasa por el centro de la maza superior; ésta se determina sumando al ajuste de entrada de la cuchilla en reposo  $A_c$ , la mitad de la deducción media de la profundidad del rayado de la maza superior, de donde tenemos:

$$B = A_c + H/4$$

$B = 10.37 + 1.1906 = 11.56$	Molino I
$B = 8.87 + 1.1906 = 10.06$	Molino II
$B = 7.79 + 1.1113 = 8.90$	Molino III
$B = 6.46 + 1.1113 = 7.57$	Molino IV
$B = 6.27 + 1.1113 = 7.38$	Molino V
$B = 5.65 + 1.1113 = 6.76$	Molino VI

AJUSTES DE SALIDA DE LA CUCHILLA EN REPOSO.

Para determinar el ajuste de salida de la cuchilla en reposo "C", se le suma al ajuste central de la cuchilla calculada "B", la mitad de la deducción media de la profundidad del rayado de la maza superior, con la fórmula siguiente:

$$C = B + H/4$$

$C = 11.56 + 1.1906 = 12.75$	Molino I
$C = 10.06 + 1.1906 = 11.97$	Molino II
$C = 8.90 + 1.1113 = 10.01$	Molino III
$C = 7.57 + 1.1113 = 8.68$	Molino IV
$C = 7.38 + 1.1113 = 8.49$	Molino V
$C = 6.76 + 1.1113 = 7.87$	Molino VI

AJUSTES SEPARACION TALON CUCHILLA O DRENAJE "D".

Esta abertura de drenaje que se deja por la parte posterior es para poder dar salida al jugo extraído durante la compresión entre la maza superior y la bagacera. La separación del talón de la cuchilla de la maza bagacera, o sea, el llamado "DRENAJE DE LA CUCHILLA D", debe estimarse de manera que el área de ésta abertura sea del 55 % de la abertura de entrada de las mazas ( $A_e$ ), en operación para todos los molinos. Del razonamiento anterior obtenemos la fórmula siguiente:

$$D = A_e \times 0.55$$

$D = 0.55 \times 9.67 = 5.32$	Molino I
$D = 0.55 \times 8.46 = 4.65$	Molino II
$D = 0.55 \times 7.52 = 4.14$	Molino III
$D = 0.55 \times 6.57 = 3.61$	Molino IV
$D = 0.55 \times 6.47 = 3.56$	Molino V
$D = 0.55 \times 5.84 = 3.21$	Molino VI

AJUSTES DE VOLÚMENES DE BAGAZO.

Después de calcular los ajustes de las mazas y de las cuchillas centrales, se puede hacer una modificación de los mismos, para que la gráfica 4 de los ajustes de volúmenes en función de los ajustes de salidas  $S_s$ , entrada  $S_e$  y cuchilla B, se representen por una curva que no sea muy quebrada, sino lo más uniforme posible.

Los ajustes de volúmenes de bagazo se encuentran multiplicando la velocidad periférica de las mazas superiores  $v$  por el ajuste de entrada  $S_e$  y salida  $S_s$  de las mazas, y también por el factor de la cuchilla central  $F''$ , considerando las mazas en reposo y referidos estos volúmenes de bagazo a los diámetros medios de las mazas; por lo tanto:

$A_{VS} = 21.4 \times 5.86 = 125.40$	Desmenuzadora
$A_{VS} = 17.40 \times 4.87 = 84.74$	Molino I
$A_{VS} = 17.27 \times 4.05 = 69.94$	Molino II
$A_{VS} = 17.72 \times 3.41 = 60.43$	Molino III
$A_{VS} = 19.55 \times 2.78 = 54.35$	Molino IV
$A_{VS} = 19.54 \times 2.59 = 50.61$	Molino V
$A_{VS} = 20.77 \times 2.19 = 45.49$	Molino VI
$A_{Ve} = 17.40 \times 8.40 = 146.16$	Molino I
$A_{Ve} = 17.27 \times 7.44 = 128.49$	Molino II
$A_{Ve} = 17.72 \times 6.63 = 117.50$	Molino III
$A_{Ve} = 19.55 \times 5.68 = 111.06$	Molino IV
$A_{Ve} = 19.54 \times 5.58 = 109.05$	Molino V
$A_{Ve} = 20.77 \times 4.98 = 103.46$	Molino VI

AJUSTES DE VOLÚMENES DE BAGAZO PARA LA CUCHILLA CENTRAL.

Se llama factor de la cuchilla central  $F''$ , a la suma del

ajuste central de la cuchilla en reposo B, más la mitad de la profundidad del rayado de la maza superior.

Este factor F'', se utiliza para verificar los ajustes de volúmenes de bagazo a la entrada, centro y salida de la cuchilla y hacer las correcciones necesarias para que las líneas de la gráfica de los ajustes de los volúmenes sean lo menos quebradas posibles, y permitan aumentar o disminuir los volúmenes de bagazo para compensar los ajustes calculados, que resultan de las diferencias siempre presentes en las velocidades periféricas de las mazas de los molinos.

$$F'' = B + H/2$$

$F'' = 11.56 + 2.38 = 13.94$	Molino I
$F'' = 10.06 + 2.38 = 12.44$	Molino II
$F'' = 8.90 + 2.22 = 11.12$	Molino III
$F'' = 7.57 + 2.22 = 9.79$	Molino IV
$F'' = 7.38 + 2.22 = 9.60$	Molino V
$F'' = 6.76 + 2.22 = 8.98$	Molino VI

Donde:

$$A_{vc} = v \times F''$$

$A_{vc} = 17.40 \times 13.94 = 242.56$	Molino I
$A_{vc} = 17.27 \times 12.44 = 214.84$	Molino II
$A_{vc} = 17.72 \times 11.12 = 197.05$	Molino III
$A_{vc} = 19.55 \times 9.72 = 191.39$	Molino IV
$A_{vc} = 19.54 \times 9.60 = 187.58$	Molino V
$A_{vc} = 20.77 \times 8.98 = 186.51$	Molino VI

#### AJUSTE GRAFICO DE CUCHILLAS CENTRALES SISTEMA TAMAZULA.

Una vez calculadas las aberturas de entrada y salida de las mazas de los molinos, el trazo de la cuchilla central y su ajust-

te correspondiente se hace de la siguiente manera:

1.- Se dibuja en tamaño natural, las tres mazas con los diámetros exteriores y las circunferencias de los fondos de los rayados.

2.- Se dibuja el triángulo formado por los centros de las tres mazas, siendo "O", "M" y "N" los centros y ángulos del triángulo y "m" y "n" los lados opuestos correspondientes.

3.- Se mide el ángulo "B" entre el lado "n" y la línea vertical que pasa por el centro "O" de la maza superior y se divide entre 3 para determinar el ángulo "L".

4.- Se traza el ángulo "L" igual a la tercera parte de "B" tomando como base el lado "n" y se determina el punto "P" de iniciación de la cuchilla sobre el fondo del rayado de la maza cañera.

5.- Se mide el radio "R" de la circunferencia exterior de la maza cañera y se divide entre tres para determinar el punto "r" sobre el lado "o" del triángulo medido a partir de la circunferencia exterior.

6.- Se traza una línea desde "O", centro de la maza superior hasta el punto "r" y la intersección de esta línea con la circunferencia exterior de la maza cañera, determina el punto "A", que corresponde al ajuste de entrada "A" de la cuchilla central, referida al diámetro exterior de la maza superior y a la cara de la cuchilla.

7.- La caída de la cuchilla, a partir del punto "A" se estima alrededor de  $1/16$  por cada pulgada de ancho de la cuchilla y de acuerdo con el tamaño del molino de que se trate con su correspondiente ancho o cara de la cuchilla, se determinan los puntos "B" y "C", correspondientes a las distancias central y de saldada de la cuchilla. Figura 4.

8.- La distancia "D" del talón de la cuchilla a la maza bagacera, se determina, tomando del 60 % al 70 % del área de entrada de mizas.

9.- Finalmente se traza una curva por los tres puntos "A", "B", y "C" del modo usual para determinar el centro de la circunferencia que pasa por los tres puntos; y, por último se traza una curva suave para conectar el punto "P" de iniciación de la cuchilla con el punto "A" de ajuste de entrada de la cuchilla central, usando cuando menos un radio igual a la distancia entre los puntos "P" y "r".

Este método basado sobre el sistema usado en Java para la colocación de las cuchillas centrales, es adecuado para las altas moliendas de caña, con molinos modernos de alta velocidad y con mazas provistas de rayados de 2.54 cm. a 5.1 cm. ( 1" a 2" ) de paso y ángulos de 50° y 55°, como es nuestro caso.

## CAPITULO IV

### DEMANDA DE VAPOR.

El peso de vapor suministrado a una máquina por HP/hr, se denomina consumo específico; este valor depende de varios factores, a saber:

- 1.- Presión inicial de vapor.
- 2.- Temperatura total del sistema.
- 3.- Presión de escape.
- 4.- Rendimiento térmico.

El rendimiento térmico, es la relación entre el calor útil y el suministrado a la máquina para producirlo. El rendimiento térmico correspondiente al vapor seco sobre la base de un HP es:

$$e_t = \frac{642}{m_s h_f + x( h_{fg} - h_f )}$$

en donde:

- $e_t$  = Rendimiento térmico real.
- 642 = Equivalente térmico de un HP/hr, K cal.
- $m_s$  = Peso real de vapor suministrado por HP/hr, en Kg.
- $h_f$  = Entalpía del líquido a la presión absoluta inicial, en K cal/Kg.
- $x$  = Título del vapor suministrado.
- $h_{fg}$  = Entalpía de vaporización a la presión absoluta inicial en K cal/Kg.
- $h_f$  = Entalpía del líquido a la presión absoluta de escape, en K cal/Kg.

Cuando el vapor suministrado a la máquina está recalentado,

como es nuestro caso; la expresión anterior se convierte en:

$$e_t = \frac{642}{m_s (h - h_f)}$$

en donde:

$h$  = Entalpía total del vapor recalentado a la presión absoluta inicial, en K cal/Kg.

Analizando las dos fórmulas anteriores, resulta que, en cualquier caso, cuando las condiciones iniciales permanecen constantes, todo aquello que reduzca el valor de  $m_s$  hace aumentar el rendimiento térmico; este varía inversamente con el consumo de vapor por HP/hr.

De la fórmula anterior despejamos  $m_s$  y tendremos:

$$m_s = \frac{642}{e_t (h - h_f)}$$

Para encontrar el valor de  $h_2$  tendremos que partir de las entropías para encontrar  $x$  y sustituirlo en  $h_2$ :

$$S = S_f + x (S_{fg})$$

$$\therefore x = \frac{S - S_f}{S_{fg}}$$

$$h = h_f + h_{fg} x$$

$$P_e = 12.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_s = 2.8 \text{ "}$$

$$T_t = 249^\circ\text{C}$$

$$h = 706 \text{ K cal/Kg}$$

$$S = 1.6373$$

$$S_f = 0.3919$$

$$T_f = 130.6$$

$$S_{fg} = 1.2844$$

$$h_f = 132.17 \text{ K cal/Kg.}$$

$$h_{fg.} = 522.8$$

$$x = \frac{1.6373 - 0.3919}{1.2844} = 0.9696$$

$$h_2 = 132.17 + 522.8 \times 0.9696 = 639.08$$

Por lo tanto, tendremos:

$$m_s = \frac{642}{(706 - 639.08) 0.65} = 14.74 \text{ Kg/HP-hr.}$$

Para encontrar la potencia que se requiere para cada turbina, se recurrió a la Gráfica 5 que nos indica la potencia que requiere cada molino; ésta puede ser usada para obtener, aproximadamente, el caballaje que se necesita en un molino de tres mazas bajo diferentes condiciones de operación. Los datos usados al preparar esta gráfica, están basados en la fórmula desarrollada por el Ingeniero Miguel Chinchilla Barona.

Por lo tanto, tendremos que:

$$V_s = 14.74 \times 650 = 9581 \text{ Kg/hr Turbina I}$$

$$V_s = 14.74 \times 1080 = 15919 \quad " \quad \text{Turbina II}$$

$$V_s = 14.74 \times 1130 = 16656 \quad " \quad \text{Turbina III}$$

$$V_s = 14.74 \times 1220 = 17983 \quad " \quad \text{Turbina IV}$$

## CONCLUSIONES.

El objetivo de esta tesis fué el encontrar las aberturas adecuadas del molino del Ingenio Tamazula, y las consecuencias que se tienen cuando se varían las condiciones de operación de cada uno de los factores que intervienen en dichos cálculos. Después de estos ajustes, es importante un período de observación para evaluar los logros de dichos ajustes; y, en la práctica, hacer los ajustes necesarios que se presentan por diferentes causas, que no están a nuestro alcance y que nada más la observación en los molinos, con **datos** de zafras anteriores, nos los dan.

Ojalá que los datos señalados en el presente trabajo sean de alguna utilidad para los Ingenieros que ordenan y supervisan los trabajos del Ingenio Tamazula, pues completaría el objetivo que me tracé.

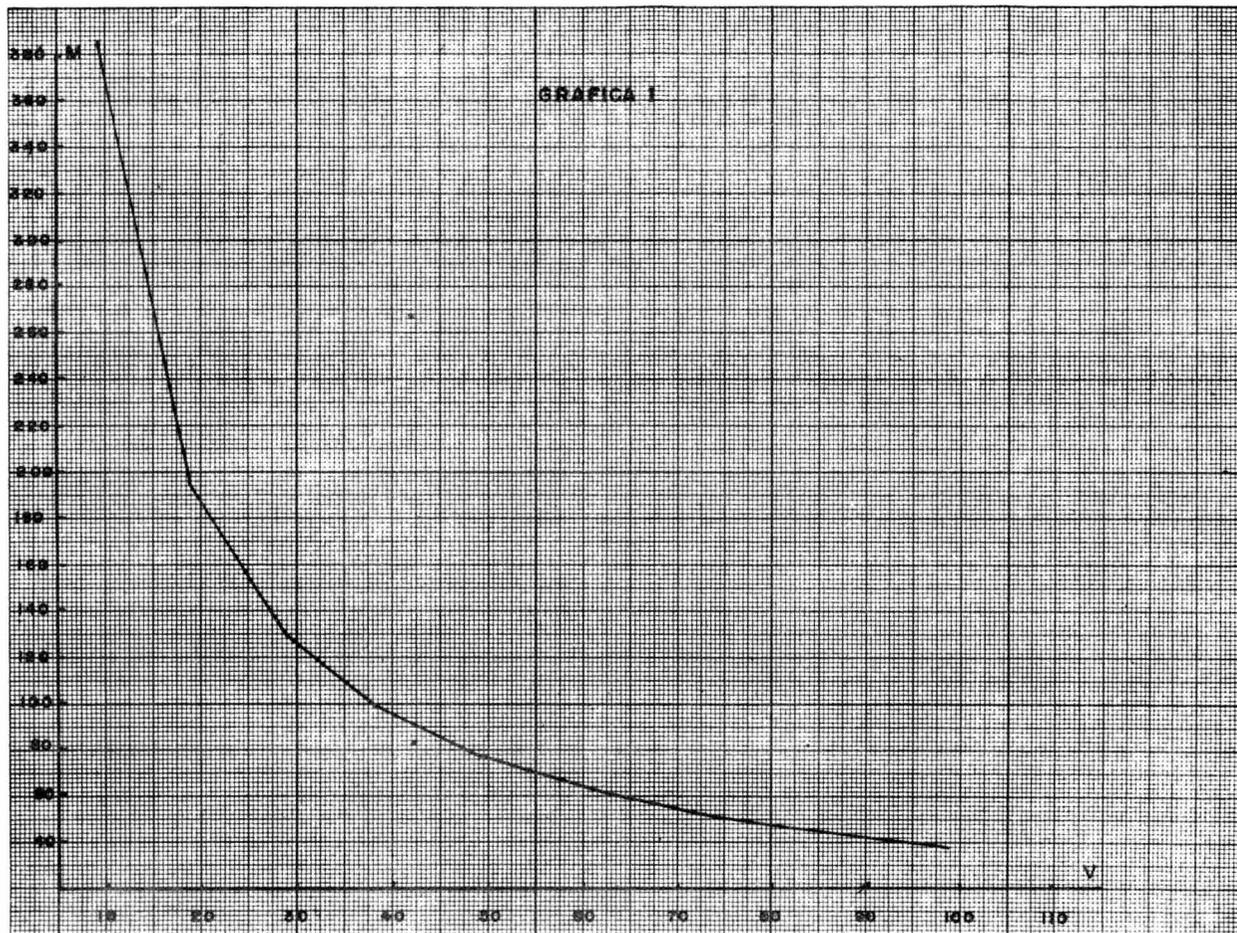
TABLA II

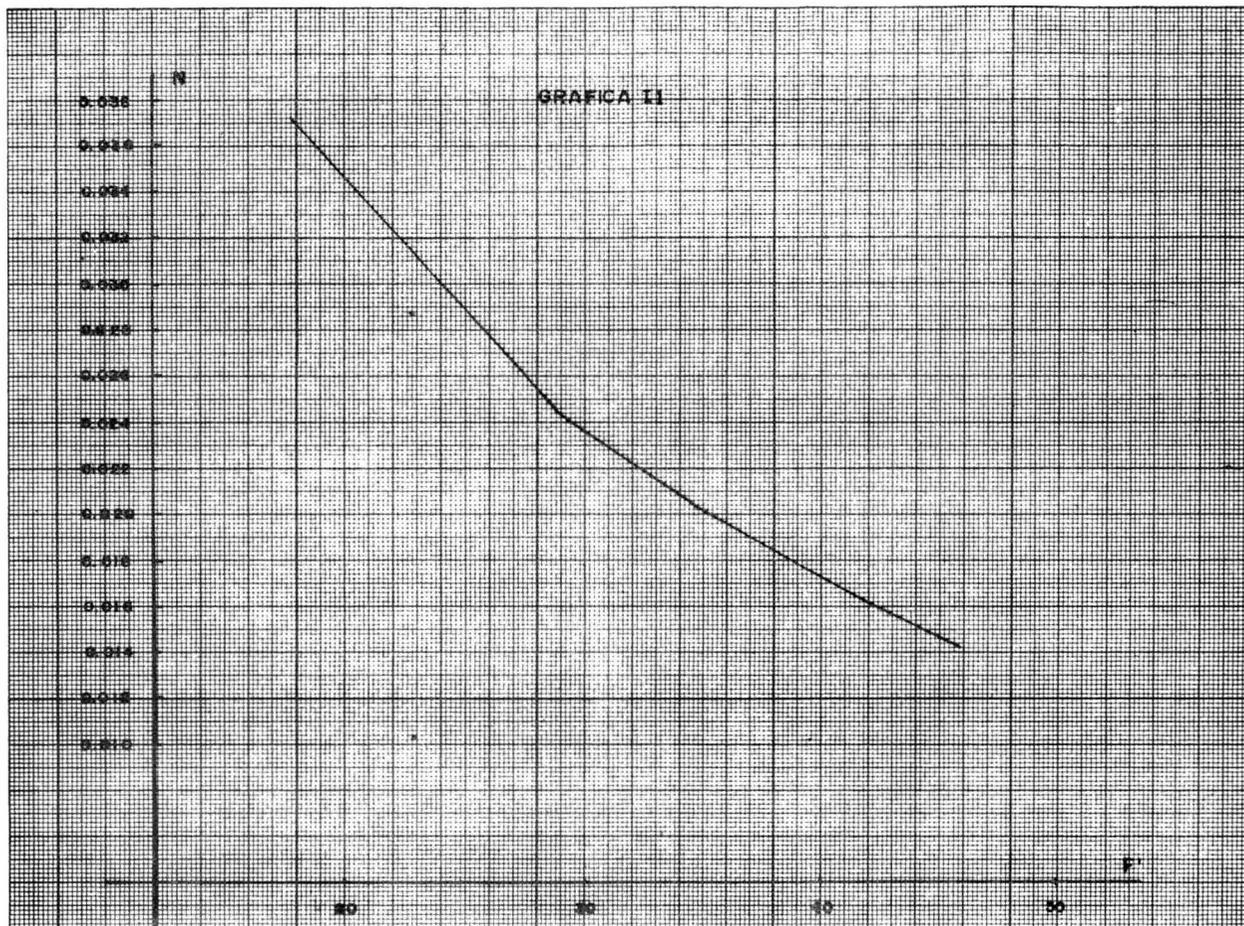
Desmenzadora	Molino I	Molino II	Molino III	Molino IV	Molino V	Molino VI
H	76	65	59	54	52	48
F	24	35	41	46	48	52
F <sub>w</sub>	1284	1364	1444	1525	1605	1685
h <sub>w</sub>	1059	1059	1043	1027	1027	1011
b <sub>w</sub>	1123	1172	1204	1252	1300	1348
relación engrana- je.	465/1	585/1	564/1	540/1	502/1	535/1
R.P.M.	2950	3450	3450	3550	3550	3600
D	109	95	89	87	89	92
L	183	183	183	183	183	183
v	21.4	17.4	17.3	17.7	19.6	19.5
M	179.7	219.9	221.5	215.9	195.7	195.8
N	0.037	0.024	0.020	0.017	0.016	0.015
A <sub>s</sub>	6.6	5.4	4.4	3.8	3.1	2.9
K		1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
A <sub>e</sub>		9.7	8.5	7.5	6.6	6.5
S <sub>s</sub>	4.7	4.1	4.4	2.9	2.2	2.0
S <sub>e</sub>		8.4	7.4	6.6	5.7	5.6
D	1.9	1.3	1.0	0.9	0.9	0.9
F <sub>a</sub>		1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
A		14.0	12.3	10.9	9.5	9.4
H'		4.8	4.8	4.4	4.4	4.4
A <sub>c</sub>		10.4	8.9	7.8	6.5	6.3

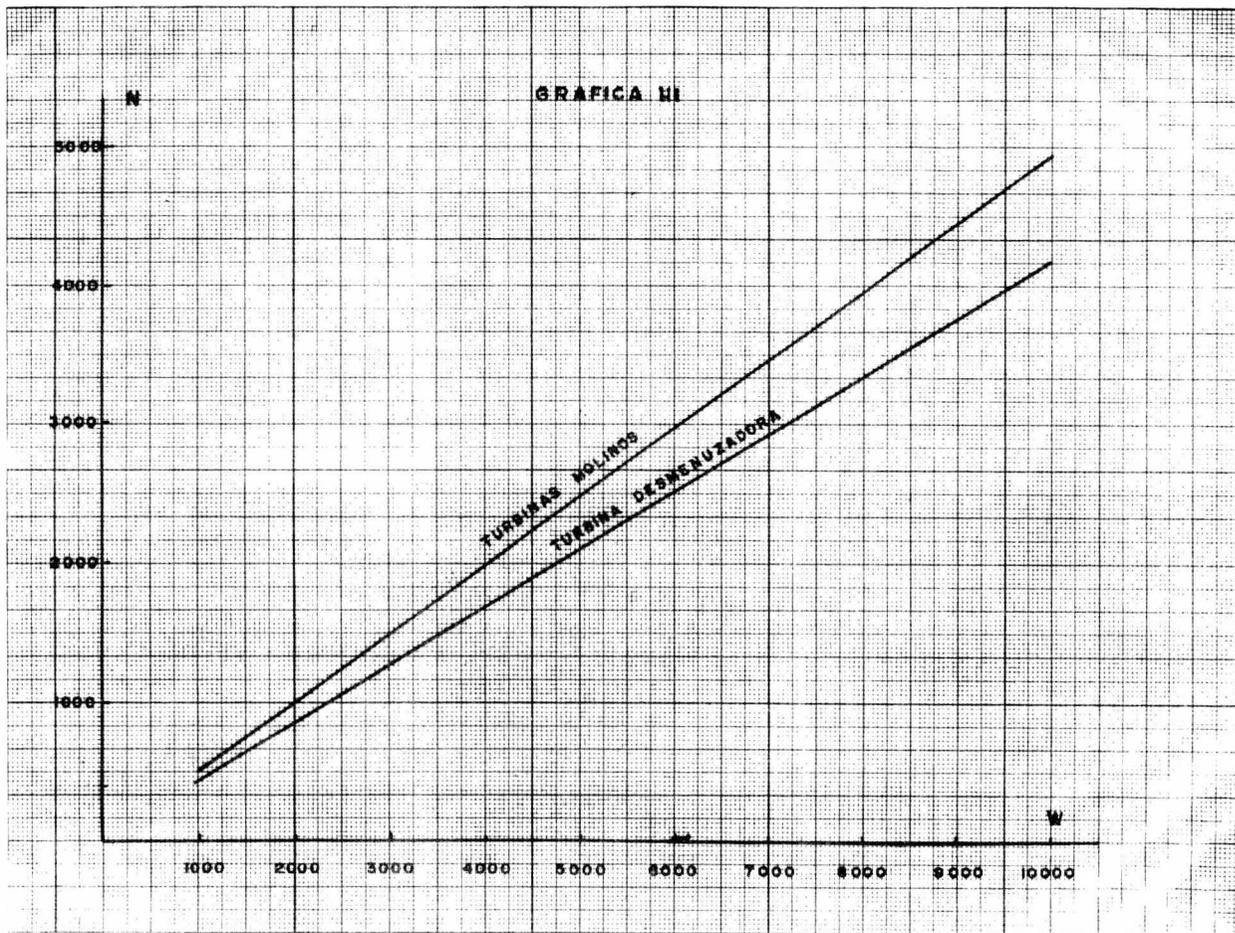
B		11.6	10.1	8.9	7.6	7.4	6.8
C		12.7	12.0	10.0	8.7	8.5	7.9
D		5.3	4.6	4.1	3.6	3.6	3.2
A <sub>Vs</sub>	125.4	84.7	70.0	60.4	54.3	50.6	45.5
A <sub>Ve</sub>		146.1	128.5	117.5	111.1	109.0	103.5
F <sup>II</sup>		13.9	12.4	11.1	9.8	9.6	9.0
A <sub>wc</sub>		242.6	214.8	197.0	191.4	187.6	186.5

TABLA I

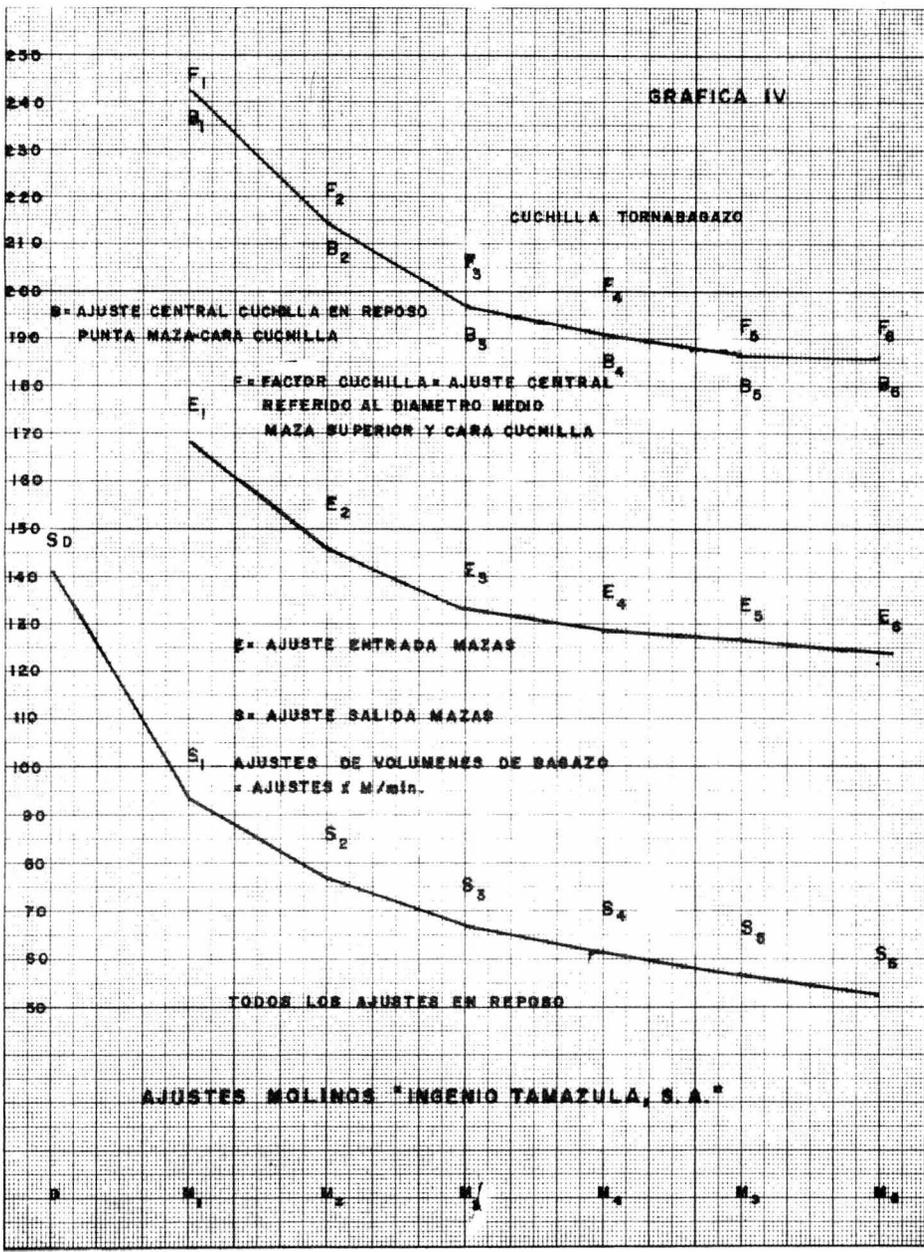
	Desmenuzadora	Molino I	Molino II	Molino III	Molino IV	Molino V	Molino VI
F'	24	35	41	46	48	50	52
H	76	65	59	54	52	50	48
f <sub>w</sub>	1284	1364	1444	1525	1605	1685	1765
b <sub>w</sub>	1123	1172	1204	1252	1300	1348	1396
h <sub>w</sub>	1059	1059	1043	1027	1027	1011	995







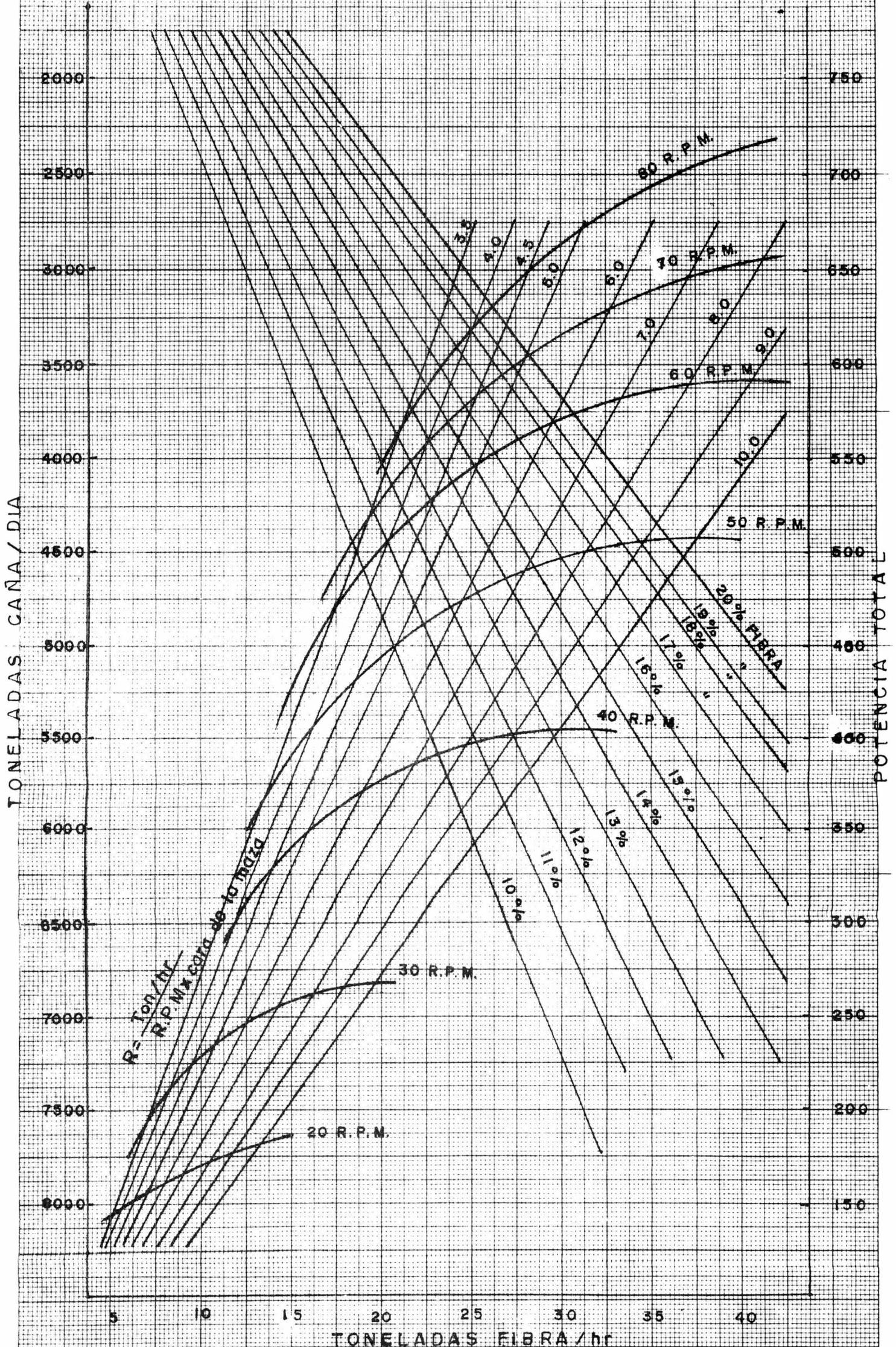
GRAFICA IV



AJUSTES MOLINOS "INGENIO TAMAZULA, S.A."

GRAFICA V

TONELADAS CAÑA / DIA



TURBINA DE VAPOR N°1  
de 700 HP  
3180 RPM NORMAL  
4130 RPM MAXIMA  
180 PSI  
480 FTT  
25 PSIG

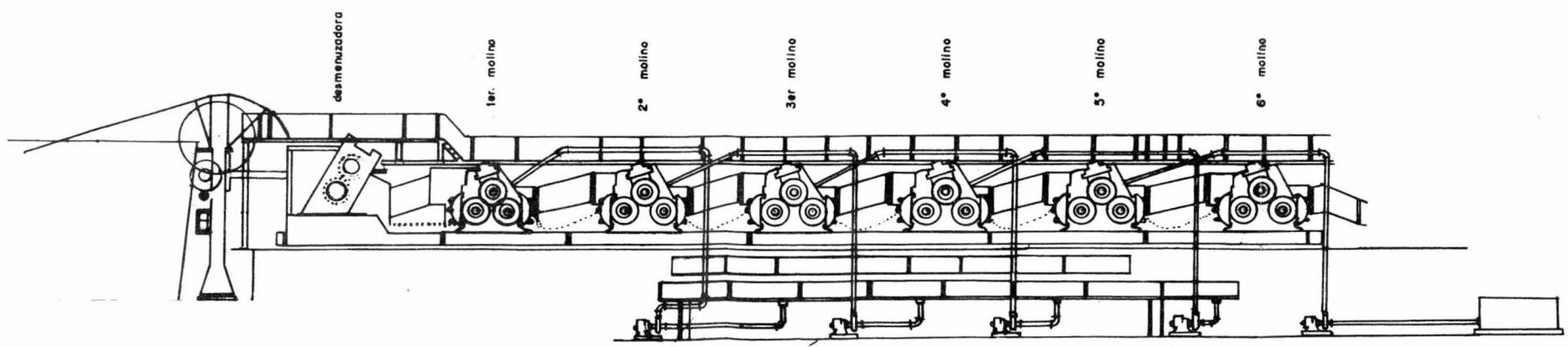
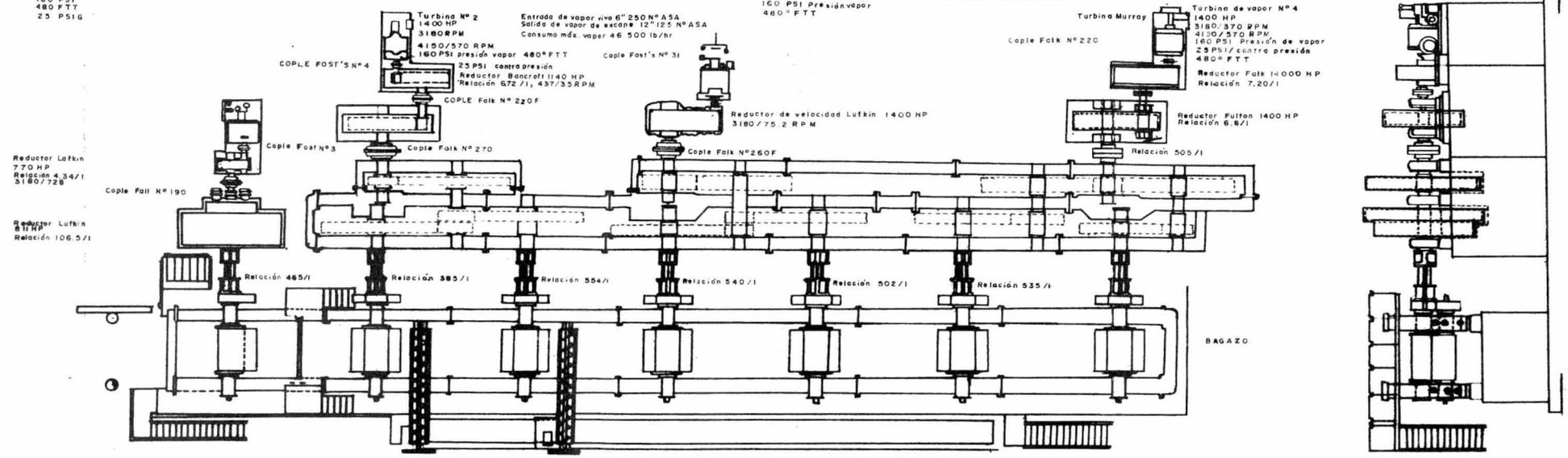
ENTRADA VAPOR DE VAPOR VIVO 6" 250N°ASA  
SALIDA VAPOR ESCAPE 12" 125 N°ASA  
CONSUMO MAXIMO DE VAPOR 26 000 lb/hr

Turbina de vapor N°3  
de 1400 HP  
3160/437 RPM  
160 PSI presión vapor  
460° FTT

Entrada vapor vivo 6" 250 N°ASA  
Salida vapor escape 12" 125 ASA  
Consumo máx.vapor 49000 lb/hr

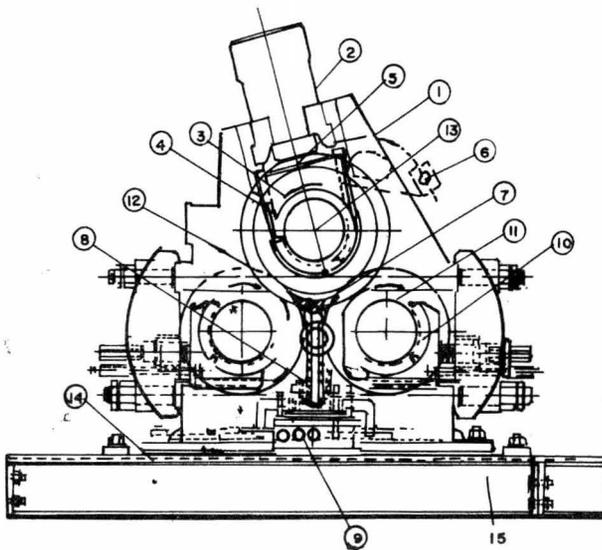
Entrada vapor vivo 6" 250N° ASA  
Salida Vapor de escape 12" 125 N°ASA  
Consumo máx 46000lb/hr.

Turbina de vapor N°4  
1400 HP  
3180/370 RPM  
4150/370 RPM  
160 PSI presión de vapor  
28 PSI contra presión  
480° FTT  
Reductor Falk 1400 HP  
Relación 7.20/1



MOLINOS ELEVACION

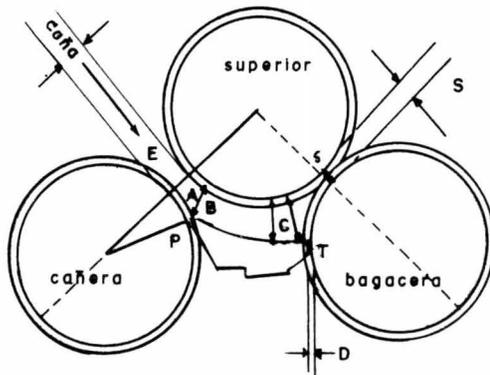
Facultad de Ciencias Químicas  
Distribución de los molinos  
TESIS PROFESIONAL  
Miguel Baños Lomel. Fig.1



MOLINO FULTON CONVENCIONAL

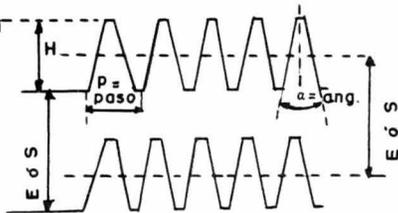
- 1.- Virgen inclinada, toda de acero fundido
- 2.- Cabeza de ariete hidráulico
- 3.- Chumacera superior, toda de bronce.
- 4.- Ribete de acero duro para cubrir la quijada de la vírgen.
- 5.- Placa gruesa para transmitir uniformemente la presión hidráulica
- 6.- Soporte del raspador de la maza superior
- 7.- Cuchilla central
- 8.- Puente cargador de la cuchilla central
- 9.- Placa para dar ajuste a la cuchilla central desde fuera de la vírgen.
- 10.- Bronce de la chumacera de la maza bagacera
- 11.- Protector sellador de bronce de la chumacera
- 12.- Camisa de fierro colado de la maza cañera
- 13.- Flecha de acero forjado de la maza superior
- 14.- Canal de acero inoxidable, receptor del jugo extraído
- 15.- Bancada de la vírgen

Facultad de Ciencias Químicas	
Posición de las mazas	
TESIS PROFESIONAL	
Manuel Bañas Lomell	Fig. 2

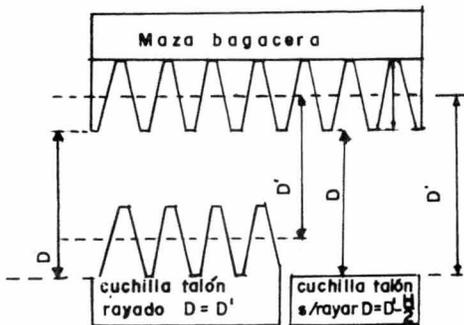


Maza superior

H = Profundidad del rayado

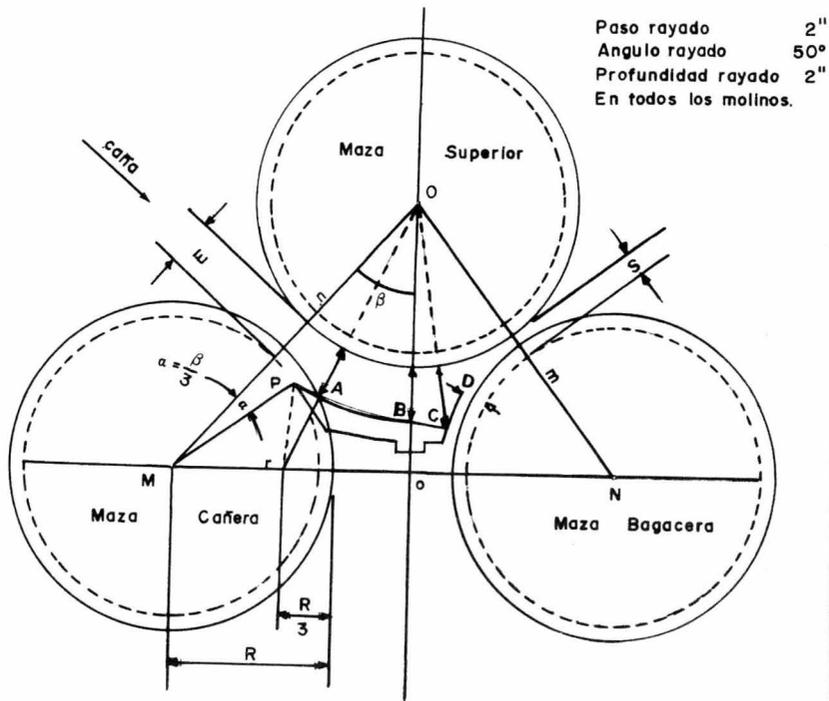


Maza inferior



Facultad de Ciencias Químicas	
Posición de la cuchilla	
TESIS PROFESIONAL	
Manuel Baños Lameli	Fig. 3

Ajuste gráfico de cuchillas centrales en Trapiches "Sistema Tamazula"



Paso rayado 2"  
 Angulo rayado 50°  
 Profundidad rayado 2"  
 En todos los molinos.

E = Entrada de mazas en reposo referida a los diámetros medios o punta-fondo (PF) cuando los rayados de las mazas son iguales.

S = Salida de mazas en reposo PF.

A = Entrada de la cuchilla en reposo referida al diámetro exterior de la maza superior y la cara de la cuchilla.

B = Distancia central de la cuchilla en reposo.

C = Salida de la cuchilla en reposo

D = Drenaje en la cola de la cuchilla, igual al 60-70 % del área de entrada.

$\beta$  = Angulo vertical con la línea "n" de centros de las masas superior y cañera.

P = Punto de iniciación de la cuchilla

R = Radio a la circunferencia exterior de la maza cañera

$$\alpha = \frac{\beta}{3}$$

Fac. de Ciencias Químicas
Ajuste Cuchillas
TESIS PROFESIONAL
Manuel Baños L. Fig 4

## BIBLIOGRAFIA.

Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba.

Memorias de las Conferencias Anuales; Años: 1947, 1951, 1953, 1954, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1964.

Farrel Sugar Mills. Boletín Técnico 312A, Farrel Ansonia, Connecticut, U.S.A.

Hugot E. Manual para Ingenieros Azucareros, 1a. Ed., C.E.C.S.A., 1953.

López Ferrer F.A., Manual Práctico de Maquinaria y Aparatos en los Ingenios de Azúcar de Caña, 2a. Ed., Editorial Cultural S.A., 1949.

Jenkins G.H., Introduction To Cane Sugar Technology, Elsevier Publishing Company, 1966.

Serna Silva Fco., Ajuste Gráfico de Cuchillas Centrales en Trapi- ches, Sistema Tamazula, IMIQ, 3a. Convención Nacional, 1963.

Spencer-Meade. Manual del Azúcar de Caña, 9a. Ed., Montaner y Simón S.A., 1967.

Viego Delgado Senén. Cálculo Azucarero, 2a. Ed., 1953.