



13
29

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"EVALUACION DEL INDICE DE TRABAJO DE
CINCO VARIEDADES DE MAIZ (ZEA MAYS)
Y TRES VARIEDADES DE SORGO
(SORGHUM VULGARE)."**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ADRIANA NOGUERA SUAREZ

Director de Tesis :
I.Q.I. ALVARO LEO RAMIREZ

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

INTRODUCCION	1
RESUMEN	2
SIMBOLOGIA	3
CAPITULO I.- ANTECEDENTES	4
1.1. MOLIENDA Y/O REDUCCION DE TAMAÑO	4
1.1.1. Definición de Molienda	4
1.1.2. Objetivos de la Molienda	4
1.1.3. Tipos de Molienda	4
1.1.3.1. Molienda Húmeda	4
1.1.3.2. Molienda Seca	5
1.2. EQUIPOS DE TRITURACION Y MOLIENDA	6
1.2.1. Clasificación	6
1.2.2. Equipos utilizados en la Industria de Alimentos para la reducción de tamaño.	7
1.2.2.1. Quebrantador de rodillos	8
1.2.2.2. Molino de Disco de Frotamiento	8
1.2.2.3. Molino de Martillos	8
1.2.2.4. Molino de Bolas	9
1.2.2.5. Molino de Rodillos	9
1.2.2.6. Molino de Barras	10
1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REDUCCION DE TAMAÑO	10
1.3.1. Características de los materiales	10
1.3.1.1. Humedad	10
1.3.1.2. Dureza	10
1.3.1.3. Friabilidad o Fragilidad	10
1.3.1.4. Tenacidad	11
1.3.1.5. Estructura	11
1.3.1.6. Sensibilidad a la temperatura	11
1.3.1.7. Frotamiento	11
1.3.2. Factores que afectan a la molienda	11
1.3.2.1. Diámetro de partícula de la alimentación	11
1.3.2.2. Velocidad de alimentación	11

1.3.2.3.	Abertura de la criba	12
1.3.2.4.	Tipo de Molino	12
1.3.2.5.	Potencia del molino	12
1.4.	EVALUACION DE LA REDUCCION DE TAMAÑO	13
1.5.	TEORIAS DE LA REDUCCION DE TAMAÑO	16
1.5.1.	Ley de Rittinger	16
1.5.2.	Ley de Kick	17
1.5.3.	Ley de Fred C. Bond	18
1.5.3.1.	Definición de términos	19
1.5.3.2.	Definición del Índice de Trabajo	20
1.5.3.3.	Evaluación del Índice de Trabajo	21
1.5.3.4.	Uso del Índice de Trabajo	24
1.6.	GENERALIDADES DEL MAIZ Y SORGO	25
1.6.1.	Generalidades del maíz	25
1.6.2.	Generalidades del sorgo	28
CAPITULO II.- DISEÑO EXPERIMENTAL		30
2.1.	Objetivos	30
2.2.	Metodología	31
2.2.1.	Muestra	31
2.2.2.	Cuadro Metodológico	32
2.2.3.	Métodos	35
2.2.3.1.	Evaluación del tamaño de la muestra..	35
2.2.3.2.	Calibración del Medidor de Flujo.....	36
2.2.3.3.	Descripción del proceso de molienda ..	37
2.2.3.4.	Evaluación de la potencia consumida ..	37
2.2.3.5.	Evaluación del diámetro del producto .	38
2.2.3.6.	Evaluación del Índice de Trabajo	38
2.2.3.6.1.	Cálculo del Factor de corrección	39
2.2.3.7.	Análisis Estadístico	41
CAPITULO III.- ANALISIS DE RESULTADOS		42
CONCLUSIONES		70

RECOMENDACIONES 71

BIBLIOGRAFIA 72

En la actualidad se han hecho pocos estudios sobre la trituration y molienda, siendo contadas las personas que se han dedicado a ésto, a pesar de que es una operación unitaria importante, no sólo para la Industria de los Alimentos, sino, también para industrias diversas como son: la Química, Farmacéutica entre otras. Aunado a lo anterior no existe material bibliográfico suficiente, que pueda auxiliarnos en el desarrollo e investigación de éste amplísimo tema.

Adentrándonos al tema de referencia, es igualmente importante el conocimiento de los índices de trabajo, es decir la energía requerida por el equipo para lograr la reducción de tamaño de un determinado diámetro de partícula, con la finalidad de obtener la desintegración de la materia, para lo cual tiene diversos usos, - que se explicarán a lo largo de éste trabajo.

La materia prima que se utiliza en la elaboración de la presente tesis, es el maíz y el sorgo, con variedades específicas, - por considerarlos productos que tienen un alto índice de utilización.

El sorgo y el maíz son productos que pueden ser utilizados, para la alimentación humana, animal, así como en la Industria de la transformación, para la obtención de gran número de derivados, como pueden ser almidones, aceites, etc.

Lo anterior es de suma importancia, toda vez que hasta este momento las investigaciones se han basado en productos no alimenticios, existiendo sólo extrapolaciones y/o adaptaciones para el caso de alimentos, por lo cual resulta interesante y práctico, el evaluar los índices de trabajo en alimentos y en específico maíz y sorgo, que nos pueda permitir diseñar en forma más adecuada, equipos para la reducción de tamaño.

Con el presente trabajo se pretende realizar una aportación a la industria alimenticia, sobre la importancia que representa - el conocimiento de los índices de trabajo, en el maíz y sorgo, dada la falta de información y conocimientos al respecto, tratando de explicar en forma científica, los beneficios y ventajas que se puede alcanzar con tal conocimiento.

En éste trabajo se realizó la evaluación del Índice de Trabajo de cinco variedades de maíz (*Zea mays*), así como tres variedades de sorgo (*Sorghum vulgare*); las cuales se encuentran debidamente certificadas por la Productora Nacional de Semillas; siendo necesario para el cumplimiento de tal objetivo, efectuar en principio la determinación del diámetro de partícula de la alimentación (F), para cada una de las variedades citadas anteriormente, caracterizando así la materia prima, con la finalidad de estar en posibilidad de calcular el índice de trabajo, finalidad de la presente tesis.

Hecho lo anterior, se procedió a realizar la molienda variando de las condiciones de trabajo, con la finalidad de determinar así como analizar, la influencia que tienen en el índice de trabajo, los factores que afectan a las características de la molienda; como son: abertura de la criba en tres niveles de variación; en cuanto a diámetro de partícula de la alimentación (F), ocho niveles de variación; y aplicando como velocidades de alimentación (Va ó T), dos niveles de variación; respectivamente.

Fué necesario aplicar, para el efecto de lograr interpretar los resultados del análisis que se fueron obteniendo a lo largo de la ardua investigación realizada, los conocimientos que nos proporciona la ciencia de la Estadística; y en especial la utilización de los análisis estadísticos, ANOVA, por los motivos que se explican en el capítulo II Metodología.

Con la finalidad de conocer las diferencias entre las medias, se utilizó la prueba de Tukey; aplicando finalmente el análisis factorial que permitió la observación de la interacción entre los tratamientos involucrados, (F, Ab Criba, T).

En base a lo anterior se obtuvieron como resultados, que el índice de trabajo es particular de cada variedad utilizada, es decir, según sea la variedad, será el índice de trabajo empleado. Igualmente al incrementar (F), se incrementa el índice de trabajo; entre mayor sea la abertura de la criba menor es su W_i , entre otras, señaladas en el capítulo respectivo.

S I M B O L O G I A

a Factor de corrección del índice de trabajo.

Ab Abertura de la criba

P, Ds Diámetro promedio del producto

F Diámetro promedio de la alimentación

I Intensidad de corriente.

P' Potencia

Rr Relación de reducción F/P

V Voltaje

Va, T Velocidad de alimentación

Wi Índice de Trabajo

θ Tiempo

α Nivel de significancia.

CAPITULO I.- ANTECEDENTES.

1.1. MOLIENDA Y/O REDUCCION DE TAMAÑO.

1.1.1 Definición de Molienda.

La molienda se define como la reducción de las sustancias -- sólidas por acción mecánica, dividiéndolas en partículas de tamaño menor, aplicando fuerzas (compresión, impacto o cizallamiento principalmente) que provocan la fractura o quebrantamiento.(7,9).

1.1.2 Objetivos de la Molienda.

Los principales objetivos que persigue la molienda son:

- A) Desintegración de material en trozos más pequeños.
- B) La reducción a un tamaño definido.
- C) Obtener un determinado tamaño de gránulo o con superficie específica preestablecida.
- D) Separación o extracción; por fractura del material obteniendo compuestos (aceites, minerales, compuestos químicos, etc.) que se encuentran ligados al sólido.
- E) Aumento del área superficial.

(7,9,10)

1.1.3 Tipos de Molienda.

1.1.3.1. Molienda Húmeda.

La carga se muele en forma de suspensión en una corriente -- líquida (frecuentemente agua, ya que es un medio excelente para -- éste fin) que lo transporta. El fluido en que las partículas se -- dispersan actúa como auxiliar de la molienda.

Las ventajas de la molienda húmeda son:(9,15)

- a) Se puede usar para separar las fracciones de tamaño deseado.
- b) Se aplica en la etapa más fina en la reducción de tamaño.
- c) Los productos se pueden humedecer sin dañarlos.
- d) Se evitan problemas del polvo.
- e) Se usa en las técnicas de clasificación hidráulica tales como la extracción, sedimentación y centrifugación.

Las desventajas principalmente son:

5

- a) El consumo de energía es elevado
- b) En ocasiones aumenta el desgaste del molino.

1.1.3.2. Molienda seca.

La principal desventaja es que provocan gran cantidad de polvos y en algunas ocasiones actúan como abrasivos. En la molienda de finos en seco, las fuerzas superficiales entran en acción generando una especie de acojinamiento, dando una menor eficacia en el aprovechamiento de la energía.

Aunque uno de los principales factores que influyen en la elección son el rendimiento en los pasos de clasificación subsecuente, ya sea en seco o en mojado, el costo del secado y la capacidad de los pasos de procesamiento posteriores para manejar un producto mojado. (15).

1.2.- EQUIPOS DE TRITURACION Y MOLIENDA.

1.2.1 Clasificación.

Existe una amplia variedad de equipos para la reducción de tamaño. Las principales razones de la falta de estandarización son la variedad de productos que se pueden triturar y las calidades requeridas de los mismos, la poca información útil que se tiene sobre la molienda y los requisitos de diferentes industrias en el balance económico entre el costo de la inversión y el de operación.

El equipo se clasifica, de acuerdo con la forma en que las fuerzas se aplican, de la siguiente forma: (7,8, 10)

NATURALEZA
DE LA
FUERZA

- | | |
|--------------|--|
| COMPRESION : | Se utiliza para sólidos duros produciendo tamaños grandes, su acción es similar a la de un cascanuez. |
| IMPACTO : | Acción igual a la de un martillo, se utiliza para sólidos duros y produce tamaños grandes, medios y finos. |
| FROTACION : | Acción igual a la de una lima, sólidos blandos, no abrasivos, produce tamaños finos. |
| CORTE : | Acción igual a la de unas tijeras, se utiliza para sólidos fibrosos, y produce tamaños prefijados. |

O bien hacer la clasificación de acuerdo al tamaño del producto obtenido, dividiéndolos en trituradores bastos, trituradores intermedios y molinos finos.

Los trituradores bastos se definen como aquellos tipos de maquinaria que pueden desarrollarse para tomar, como alimentación, masas tan grandes como se desee.

Los molinos de finos se definen como aquellas máquinas que pueden dar un producto que pase por el tamiz de 200 mallas.

Los trituradores intermedios son aquellas máquinas que ordinariamente no pueden tomar masas grandes como alimentación y no producen un producto que pasa por el tamiz de malla 200.

Los diferentes dispositivos pueden clasificarse en los siguientes tipos: (23).

I. Trituradores bastos.

A. Triturador de mandíbula (quebrantadores.)

1. Blake
2. Dodge

II. Intermedios.

- A. De rodillos
- B. Disco
- C. De muelas verticales
- D. Desintegradores
- E. Martillos

III. Molinos Finos.

- A. Centrífugos
 1. Raymond
- B. De piedras de molino
- C. De rodillos
- D. De bolas y tubos
- E. Molinos ultrafinos.

Algunos de los equipos antes mencionados por la clasificación anterior se describirán a continuación.

1.2.2. Equipos utilizados en la Industria de Alimentos para la reducción de tamaños.

Los trituradores bastos, tales como trituradores de mandíbulas y los trituradores giratorios no se utilizan normalmente en la industria de los alimentos.

1.2.2.1. Quebrantador de Rodillos.

Consistente en dos cilindros pesados montados en paralelo y muy próximos entre sí, que giran en dirección opuesta, - por lo que el material es atrapado y destruido triturándolo a medida que pasa por la apertura. Los rodillos pueden girar a diferente velocidad. Pertenece a los trituradores intermedios en donde no admiten alimentaciones de gran tamaño. La fuerza usada es la COMPRESION, y cuando los rodillos giran a diferentes velocidades, dan lugar a la fuerza de CIZALLA. Las relaciones de reducción de tamaño son pequeñas en general inferior a 5. (7).

1.2.2.2. Molino de Disco de Frotamiento.

Estos molinos son ampliamente usados en la industria de alimentos, para producir partículas de tamaño muy pequeño.

Los molinos de frotamiento como son los molinos de disco único o de doble disco, su principio de operación consiste en que los materiales pasan a través de la separación estrecha -- que existe entre un disco estriado que gira a gran velocidad y la armadura estacionaria del molino, y en el segundo su modificación es que la armadura contiene dos discos que giran en dirección -- opuesta; en ambos casos existe la acción cizallante siendo mayor para el molino de doble disco. Estos molinos utilizan las fuerzas de FROTAMIENTO O CIZALLA. (7,23).

1.2.2.3. Molino de Martillos.

Este tipo de molino de impacto o percusión es común en la industria de alimentos. Esta formado por un cierto número - de discos que están montados en un eje central. Entre estos discos van colgados unos martillos, en forma de barras rectangulares de acero, que tienen de 3 a 12 cm de espesor. En un lado de la -- carcasa van unos platos rompedores de fundición blanca o acero al manganeso y en el fondo va la envuelta formada por barras endurecidas, formando tamiz. El eje se hace girar a alta velocidad y la fuerza centrífuga hace que los martillos salgan hacia fuera de -- los platos. El material frágil o friable es golpeado por impacto

contra los platos rompedores o contra las barras; se rompe y cae a través del tamiz.

La reducción de tamaño es producida principalmente por las fuerzas de IMPACTO, aunque si las condiciones de alimentación son obturantes las fuerzas de frotamiento pueden tomar parte en la reducción de tamaño.

Los molinos de martillos son de uso general ya que pueden triturar sustancias como: sólidos cristalinos puros, productos fibrosos, sustancias quebradizas, sustancias vegetales, productos pegajosos, materiales blandos, resinas, breas, corcho, drogas y materiales alimenticios tales como: pimienta, especias, leche seca, azúcar, granos, etc. (7,8,10,23)

1.2.2.4. Molino de Bolas.

Utilizan las fuerzas de GIZALLA E IMPACTO, para la reducción de tamaño. La sustancia se sitúa en un cilindro horizontal o cono y gira con gran número de bolas de acero, cantos rodados o piedras artificiales que rompen y trituran la sustancia; la aplicación de los molinos de bolas en la industria de la alimentación es limitada. El molino durante la operación de molienda está cargado con bolas de varios tamaños, no porque así se pongan, sino por el contrario desgaste de frotamiento. Si gira a mayor velocidad, será mayor el consumo de potencia, pero la finura dada, aumenta. Este molino pertenece a los molinos finos.(10,23)

1.2.2.5. Molino de Rodillos.

Los molinos de rodillos son similares a las quebrantadoras de rodillos, sólo que poseen rodillos pulidos y giran a velocidades diferenciales, se utiliza extensamente para producir harina. El tamaño máximo de partículas que puede pasar entre los rodillos se puede regular debido a su geometría sencilla; si se conoce el coeficiente de fricción entre los rodillos y la sustancia a triturar se puede calcular el tamaño de partícula más grande que puede ser atrapada en los rodillos. Su acción depende principalmente al IMPACTO, pertenece a los molinos finos. (10,15).

1.2.2.6. Molino de Barras.

Es una modificación al molino de bolas, en los que los agentes que efectúan la molienda, en lugar de ser bolas o guijarros son barras paralelas al eje del molino. Las fuerzas de IMPACTO y FRICCIÓN juegan un papel importante, pero el efecto del impacto es menos pronunciado. Las barras tienen la longitud del molino. Se recomienda utilizar molino de barras con sustancias pegajosas con las que las bolas puede quedar adheridas a la masa de la carga. Es también uno de los equipos que conforman a los Molinos Finos. (15).

1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REDUCCION DE TAMAÑO.

1.3.1. Características de los Materiales al ser reducidos.

(Características del grano o material).

1.3.1.1. Humedad. En la reducción de tamaño es importante conocer el contenido de humedad que presentan los productos; ya que si la humedad del material oscila entre un 2 y 4% en peso se ve beneficiada la reducción de tamaño, en cambio con una humedad mayor a ésta puede provocar embotamiento del molino o simplemente atascarlo, ya que los materiales se vuelven pastosos y adherentes especialmente en la reducción grosera o intermedia. (7,11) En cambio cuando el producto presenta un porcentaje mayor al del 50% facilita la operación ya que arrastra las partículas sólidas formando suspensiones.

1.3.1.2. Dureza. Esta puede definirse como la resistencia que oponen a ser hendidos; permite establecer el tipo de fuerza que puede actuar, el tiempo de residencia en la zona de acción. (8).

1.3.1.3. Friabilidad o Fragilidad. Nos expresa la facilidad con que una sustancia puede ser desmenuzada o rota por el choque; o bien se define como las características que presentan -

los materiales para romperse; mientras más pequeña es la partícula mayor es la cantidad de energía que necesita para romperse. (la dureza de un material no da la pauta de su fragilidad). (8).

1.3.1.4. Tenacidad: Propiedad de algunos materiales de resistir a los choques. (15).

1.3.1.5. Estructura: Nos puede indicar la clase de fuerza que hay que aplicar para efectuar la trituración. Involucra la forma, tamaño, masa, volumen. Es importante saber el tipo de estructura que tienen los productos alimenticios ya que para poder desintegrarlos en algunos casos no es suficiente la fuerza de compresión o impacto sino es necesario desgarrarlos o cortarlos. (15).

1.3.1.6. Sensibilidad a la Temperatura: Las partículas durante la reducción de tamaño se encuentran en constante fricción y movimiento provocando un aumento de temperatura que se va a disipar en forma de calor ocasionando en algunos casos, degradación del producto y en casos extremos combustión espontánea o incluso explosión. (7).

1.3.1.7. Frotamiento: Es la resistencia que ofrece un material a deslizarse sobre otro, esta propiedad es importante para que se pueda mantener constante la velocidad de alimentación del molino. (7).

1.3.2. Factores que intervienen en la molienda.

1.3.2.1. Diámetro de partícula de la Alimentación: Es importante conocer el diámetro de partícula de la alimentación ya que va a servir para caracterizar a la materia prima. El índice de trabajo está en función de (F), así como de otras variables.

1.3.2.2. Velocidad de alimentación: Es otra variable importante dentro de la molienda ya que nos va a permitir obtener -

diferentes tiempos de residencia y las intensidades obtenidas serán diferentes por lo tanto también será distinta su potencia y su energía.

1.3.2.3. Abertura de la criba: En un molino de martillos las aberturas de las cribas se varían de acuerdo a la finura del material que se quiera obtener. Entre mayor es la abertura de la criba mayor es el producto obtenido, es decir, el diámetro de partícula en el producto es mayor.

1.3.2.4. Tipo de Molino: Existen diversas clasificaciones de éstos, en párrafos anteriores se ha mostrado los que más se utilizan en la industria de los alimentos. El tipo de molino se puede seleccionar de acuerdo al producto que se quiera obtener.

1.3.2.5. Potencia del Molino: La potencia del molino va a depender de la variación de la intensidad y ésta a su vez se ve afectada por las características del grano, tipo de molino, abertura de la criba, velocidad de alimentación y diámetro de partícula de la alimentación.

1.4. EVALUACION DE LA REDUCCION DE TAMAÑO.

Existen diversas formas de evaluar la reducción de tamaño, - como son:

A. Técnicas en las que la distribución de tamaño de los granos de un polvo se miden directamente

Esto incluye a los métodos al microscopio, que sirve para efectuar en imágenes amplificadas de partículas, haciendo mediciones lineales de las partículas utilizando una escala en la parte superior de la imagen de la partícula.

Los problemas principales en los métodos de análisis al microscopio son; la recolección de datos suficientes para asegurar la precisión adecuada en los parámetros derivados, y la eliminación de variables en los datos debido a la eficiencia del operador y la fatiga del mismo. (15).

Otro método es Sedimentación, el cual se basa en el hecho de que las partículas pequeñas de un determinado producto caen en el seno de un fluido a una velocidad uniforme y proporcional a su tamaño. Existe un método en el que se agita una muestra del material sólido con agua; después que la suspensión ha reposado cierto tiempo, mediante una pipeta se retiran proporciones de diferentes niveles de la columna del líquido. Estas proporciones se evaporan a sequedad y se pesan los residuos. Existen modificaciones, tales como utilizar una balanza con uno de sus platillos introducido en la probeta que contiene la suspensión de las partículas sólidas, y así poder pesar, a intervalos de tiempo dados, las partículas que sedimentan sobre el platillo. (8).

Por último el método de corriente; en estas técnicas las partículas que se van a medir se examinan de manera individual en la corriente de un fluido; conforme el fluido pasa por una zona sensora que se controla o regula usando haces de luz, ondas ultrasónicas y mediciones de resistencia eléctrica, la presencia de las partículas se detectan, por las perturbaciones que provocan. (15).

B. Técnicas en las que el fraccionamiento de un polvo es un paso

esencial en el proceso de análisis.

El tamizado es una operación importante en la cual se pueden separar una mezcla de partículas sólidas en diferentes tamaños. - El tamizado o cribado se utiliza en el análisis de partículas para determinar el tamaño y la distribución de tamaños de los productos fraccionados.

El tamizado consiste en hacer pasar al producto sobre una su superficie provista de orificios de tamaño deseado llamado tamiz; en cada uno de estos se tiene aberturas más pequeñas que el superior generalmente en serie $2^{1/n}$. Conforme se agitan los tamices; las partículas caen a través de ellos, hasta que llegan a un tamiz en el cual las aberturas son lo suficientemente pequeñas - para evitar el paso de las partículas.

Los materiales para la construcción de tamices más utilizados en la industria de alimentos es de acero inoxidable, metal monel y telas nylon.

Existen una serie de desventajas al usar tamices y es que se deterioran fácilmente durante su uso, en tamices comerciales las aberturas no están normalizadas. Sin embargo es el método más sencillo para la clasificación granulométrica. (11).

C. Evaluación del área superficial de un polvo a través de estudios de adsorción.

Como es el método de flujo de gases, mediante una cromatografía de gases. El nitrógeno se adsorbe sobre el polvo en un portador de gas helio, mientras que dicho polvo se encuentra en un recipiente rodeado por nitrógeno líquido. Cuando se separa el refrigerante o el enfriador, ocurre la desadsorción. La concentración de nitrógeno se mide por medio de una celda de conductividad, y es preciso recordar que la purga preliminar es de gran importancia. (8,15).

D. Finalmente caracterización de un polvo mediante estudios de permeabilidad.

Las características de tamaño se pueden inferir de la resis-

tencia ofrecida al paso de un fluido a través de un tapón de polvo comprimido. Esto se determina con la ayuda de la ecuación de Kozeny-Carman, la cual calcula el tamaño promedio de la partícula o el área superficial del polvo. (15).

1.5. TEORIAS DE LA REDUCCION DE TAMAÑO.

1.5.1. Ley de Rittinger analizada por Bond. (5).

La teoría de Rittinger es de las teorías más antiguas y la más ampliamente aceptada. Así Rittinger dijo en su primera forma que el trabajo útil en la trituración y molienda es directamente proporcional y por lo tanto inversamente proporcional al diámetro del producto.

En la segunda forma amplió su teoría e incluyó el concepto de energía superficial, en esta forma fue precisamente establecido por Gaudin como sigue:

"la eficiencia de la operación de la desintegración es la -- relación de la energía superficial producida y la energía expendeda".

Recordando esto, el trabajo consumido o gastado para reducir el tamaño de una partícula es directamente proporcional a la nueva superficie producida. Las pruebas del laboratorio aceptaron a la teoría en su primera forma, indicando que la superficie nueva producida en diferentes moliendas y trituraciones es proporcional al trabajo consumido.

La ley de trituración propuesta por Rittinger esta basada en la hipótesis de que la energía necesaria para el proceso es proporcional a la superficie reducida.

Sin embargo muchas de éstas pruebas emplearon una alimentación no natural, que consiste en tomar partículas tamizadas de un cierto tamaño, la cual fue seleccionada y tuvo remoción de finos, es decir, se tomó como muestra a la alimentación que había sido pretriturada. En estos casos la proporción del trabajo hecho sobre las partículas del producto fino se incrementa, en cambio esto no sucede cuando la alimentación es normal, que contiene los finos naturales.

Esta teoría parece ser matemáticamente indefensible ya que el trabajo es el producto de la fuerza por la distancia, y el factor de distancia (deformación de la partícula antes de la fractura) es desconocida.

1.5.2. Ley de Kick. (5).

La teoría de Kick está basada primordialmente sobre el diagrama tensor de esfuerzos de cubos bajo compresión o el factor -- de deformación. Esto establece que el trabajo requerido es proporcional a la reducción en volumen de las partículas concernientes, siguiendo la ecuación $E = K \log F/P$ en donde F representa el diámetro de la partícula de la alimentación y P es el diámetro de -- partícula del producto, y K es una constante. La relación de reducción R_r ó F/P , de acuerdo a Kick, (el trabajo consumido requerido para la reducción de diferentes tamaños es proporcional a -- el $\log R_r / \log 2$).(5).

La teoría de Kick es matemáticamente más defensible y consistente que la de Rittinger, ya que considera a los cubos bajo compresión, pero es obviamente falso asignar una proporción suficiente del trabajo total en reducción a la producción de partículas finas. De acuerdo a la teoría de Rittinger que demuestra la ruptura teórica de cubos; el trabajo útil consumido para la nueva superficie producida es proporcional a $R_r - 1$.

Si una reducción dada toma lugar en dos o más de dos etapas, la relación de reducción (R_r), es el producto del valor de R_r por cada etapa y la suma del trabajo consumido en todas las etapas es proporcional a la suma de cada valor de $R_r - 1$ multiplicado por el área superficial relativa antes de cada etapa de la reducción.

Al parecer ni la teoría de Rittinger la cual se basa en la superficie, ni la teoría de Kick la cual se interesa sólo en el volumen, pueden ser completamente correctas.

La molienda y trituración se basan en la superficie y en el volumen; la absorción de la tensión aplicada uniformemente es -- proporcional al volumen estudiado, pero las rupturas sobre la superficie y la concentración de la tensión en la superficie, motiva a la formación de agrietamientos.

1.5.3. Ley de Fred C. Bond. (5).

Bond se basó principalmente en el desarrollo, pruebas y en la aplicación de una nueva tercera teoría, en la cual eliminó --- las objeciones de las dos teorías anteriores y utilizó como principio unificado para la desintegración a todos los rangos de tamaños; ambas teorías fueron remarcadamente áridas de los resultados prácticos cuando se aplicaron a las actuales instalaciones de --- trituración y molienda.

Para desarrollar la nueva teoría, Bond primero examinó y criticó cada una de las suposiciones de las antiguas teorías. La primera de las suposiciones fue tomar en cuenta el trabajo total consumido de un material, es decir, si existe subdivisión previa al tamaño de la alimentación se debe tomar en cuenta el trabajo gastado en ésta, para evaluar el trabajo total.

La segunda suposición tomada fue tomarse y cuestionarse las dos teorías anteriores respecto a los cubos y esferas bajo compresión, siendo la última la más aplicable.

La tercera suposición es que el trabajo útil consumido es equivalente a la energía contenida, o a la energía de los materiales después de la fractura la cual es incrementada por la cantidad de trabajo útil aplicada durante la misma, aunque el incremento de energía no es recuperable por ninguna forma, y provoca un gasto de energía debido a las pérdidas por calor.

Las suposiciones que analizó Bond, no pudieron ser eliminadas completamente, ya que son útiles en el desarrollo de cualquier teoría.

Para poder establecer la teoría Bond tomó en cuenta los siguientes requisitos:

- 1.- Deben de dar resultados consistentes cuando se aplica a cualquier operación de desintegración, sobre cualquier rango en la reducción de tamaños, para cualquier material y para cualquier tipo de máquina; debiendo desarrollarse factores de corrección en cada una de las operaciones asegurando tener una buena operación.
- 2.- Debe experimentarse con una gran variedad de materiales que

previamente hayan sido estudiados en el laboratorio.

3.- La correlación debe hacerse para el índice de trabajo, representando el trabajo total consumido para un determinado tamaño -- de producto, el cual puede obtenerse para cualquier laboratorio u -- operación comercial, cuando la energía consumida y el análisis de tamaños de la alimentación como del producto son conocidos.

4.- Debe calcularse el trabajo útil consumido requerido para --- cualquier reducción de tamaño, cuando es permitido se hace para -- las diferentes características de ruptura y eficiencia mecánica a tamaños diferentes.

5.- Debe fundamentarse previamente en bases teóricas para determinar cualquier relación empírica.

6.- La eficiencia mecánica absoluta debe calcularse.

1.5.3.1. Definición de términos.

Para poder entender la deducción de Bond es necesario definir algunos términos que Bond utilizó.

Trabajo consumido (W): es el trabajo o la energía consumida en -- kw por ton corta por una máquina para la reducción de un material, de un tamaño de alimentación definida a un tamaño de producto definido.

Trabajo total consumido (Wt): representa el trabajo total o la -- energía consumida en kw-hr/ton aplicado u obtenido en la reducción de tamaño, para una alimentación teóricamente infinita de tamaño de partícula, o definido el tamaño del producto. El trabajo consumido total es la suma de trabajo en la reducción de la alimentación o el producto y de cualquier trabajo previo para obtener -- la alimentación.

Trabajo útil (Wu): representa la porción del trabajo consumido causado por la ruptura y elimina la porción del trabajo consumido en la fricción de la máquina, el desgaste del aparato, no se incluyen los materiales que se reducen, y los contactos que resultan -- del esfuerzo debajo de la ruptura crítica. Esto representa teóri-

camente el mínimo del trabajo consumido necesario en un 100% de eficiencia.

Eficiencia Mecánica: es la relación entre el trabajo útil y el -- trabajo consumido (W_u/W), esto no necesariamente corresponde a -- la eficiencia termodinámica, por lo tanto, la desintegración no -- es necesariamente reducible a un proceso adiabático.

Tamaño de la alimentación (F): es el diámetro en micras o en pu \dot{g} adas de el cuadrado de la abertura de la malla, que pase el --- 80% de la alimentación y es fundamental para el análisis.

Tamaño del producto (P): que pase el 80 % del producto, también -- es fundamental para el análisis.

Relación de reducción (Rr): es igual a F/P .

1.5.3.2. Definición del Índice de Trabajo.

Índice de Trabajo (W_i): se calcula por los kw-hr/ton aplicado en la reducción del material desde un tamaño de partícula infinito -- hasta un tamaño tal que el 80% pase por el tamiz de 100 micras o su equivalente que es aproximadamente que pase el 65% de una malla 200. Esto se puede hacer para cualquier equipo comercial o -- para operaciones del laboratorio donde el trabajo consumido y la distribución de tamaño de la alimentación y del producto sean -- conocidos. (5,6,15,23).

El proceso de desintegración o trituración, es un proceso en el cual la sustancia es sometida a tensiones bajo la acción de los miembros mecánicos de la máquina trituradora, siendo éstas tensiones en principio absorbidas internamente por las sustancias en forma de energía de deformación. Cuando las energías locales de deformación excede de un valor crítico que es función de la sustancia, tiene lugar la fractura a lo largo de líneas debilos y se disipa la energía almacenada; parte de esta energía -- se utiliza para crear nuevas superficies y la mayor parte se disipa en forma de calor.

1.5.3.3. Evaluación del Índice de Trabajo (5).

Bond se basó en la derivación de la tercera teoría, para poder evaluar el Índice de Trabajo, ésta teoría consiste en correlacionar en una gráfica log-log el porcentaje de la distribución de tamaños contra la cantidad del material que pasa a través de la abertura de la criba durante la trituración y molienda, en la cual su pendiente se ajusta a $1/\sqrt{2}$ ó 0.7071; la pendiente en cierto modo es la historia natural del material. (5).

La línea del tamaño normal de la distribución sigue la ecuación

$$Y = 80 \left[\frac{X}{P} \right]^{1/\sqrt{2}} \quad (1)$$

donde Y es el porcentaje en peso que pasa por cualquier diámetro X, y P es el diámetro del producto que pase el 80%. Asimismo, el porcentaje que pasa por cualquier tamaño de partícula X varía así como su pendiente, la cual es igual a $1/\sqrt{2}$.

El área superficial de una unidad de volumen de material, en partículas de forma similar de diámetro X, se modifica a $1/X$. Cuando el porcentaje en peso de un material normal en cada fracción de tamaño varía según la relación fija de $\sqrt{2}$ cambia a $1/\sqrt{2}$, el área superficial de cada fracción se modifica a $X^{1/\sqrt{2}} / X$ ó $1/X^{0.2929}$. El área superficial de cada fracción de tamaño debe ser igual a $1/X^0$, y si varía la pendiente también lo hace, siendo su valor de 1/2, con lo cual el área superficial cambiaría a $1/X^{1/2}$.

De acuerdo a Rittinger la energía consumida requerida para romper un cubo de diámetro D varía a D^3 , en tanto que la de Kick varía a D^2 . La tensión de energía absorbida por un cubo bajo --- compresión varía como en su volumen, ó como D^3 . Sin embargo con la formación de el primer agrietamiento, la tensión de energía absorbida fluye a la superficie, como D^2 . Cuando es irregular la forma del material y son quebradas, la tensión de energía no es igualmente distribuida en toda la partícula, y el primer tipo de agrietamiento comienza cuando fluye la energía, la cual desarrolla un modelo de ruptura; cuando la proporción de energía absorbida es intermedia entre D^3 y D^2 ; el promedio se evalúa como ---

D $5/2$.

Teóricamente la energía requerida para el rompimiento de esferas de un material similar de diámetro D parece ser proporcional a $D^{5/2}$. Tanto la superficie como el volumen son factores -- que afectan a la ruptura de un material, cuando estos efectos -- son iguales a la energía de ruptura, debe ser proporcional a --- $D^{5/2}$ el cual es la mitad del camino de las suposiciones entre Rittinger y Kick.(5).

Exposición de la tercera teoría de F.C. Bond. (5).

La tercera teoría puede establecerse como sigue: "El trabajo útil en la ruptura el cual fue aplicado a un peso establecido de material homogéneo roto es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro del producto. Donde K representa la constante de proporcionalidad y P es el diámetro del producto.

$$Wt = K / \sqrt{P} \quad \dots(2)$$

La ecuación 2 es fundamental para establecer la tercera teoría. Recordando a la tercera teoría, el trabajo consumido en la ruptura para un tamaño de producto P de 1/4 de unidad con una Rr de 4:1 es igual al trabajo consumido previo de la alimentación, ó $Wt = 2W$. Para cualquier valor ya sea F ó P, donde W en kw-hr -- por ton requerida para romper una F micras o P micras, el total del trabajo consumido, Wt, es proporcional a $1/\sqrt{P}$, y W es proporcional a $1/\sqrt{P} - 1/\sqrt{F}$.

$$\frac{Wt}{1/\sqrt{P}} = \frac{W}{1/\sqrt{P} - 1/\sqrt{F}} = \frac{W}{\frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}\sqrt{P}}}$$

$$Wt = W \left| \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}} \right| \quad \dots(3)$$

$$W = Wt \left| \frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \right| \quad \dots(4)$$

El término de $\sqrt{F} / (\sqrt{F} - \sqrt{P})$ es igual a $Rr / (Rr - 1)$.

El índice de trabajo son kw-hr/ton requerido para romper -- desde un tamaño infinito a $P=100$ micras.

$$W_i = W \left| \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}} \right| \sqrt{\frac{P}{100}} \quad \dots(5)$$

La ecuación 5 no es empírica pero se deriva directamente para el establecimiento previo de la tercera teoría. Cuando el Índice de Trabajo es conocido, la energía consumida W requerida para la ruptura sobre la misma eficiencia desde cualquier tamaño de alimentación F o cualquier tamaño de producto P , en micras es:

$$W = W_i \left| \frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \right| \sqrt{\frac{100}{P}} \quad \dots(6)$$

La ecuación 5 y 6 son iguales, sólo que en la ecuación 5 se tiene despejado el W_i y en la ecuación 6 el W .

Cuando F y P son en pulgadas(in) el número 100 en la ecuación 5 y 6 debe ser reemplazado por 0.003937 , y el $\sqrt{0.003937} = 0.0627$.

La relación del trabajo consumido requerido para cualquiera de las dos reducciones, W_1 y W_2 es:

$$W_1/W_2 = \frac{\sqrt{F_1} - \sqrt{P_1}}{\sqrt{F_1} \sqrt{P_1}} \bigg/ \frac{\sqrt{F_2} - \sqrt{P_2}}{\sqrt{F_2} \sqrt{P_2}} \quad \dots(7)$$

En caso de que las características de ruptura de un material permanezca constantes, sobre todos los tamaños de rango, y la eficiencia mecánica de todas las máquinas empleadas es la misma, la evaluación del W_i calculado bajo todas las diferentes condiciones debe ser constante. El Índice de Trabajo expresa principalmente la resistencia de un material a romper.

Los datos pueden revelar que aún en las mismas máquinas y operaciones, las características de ruptura a tamaños diferentes pueden variar así como en sus eficiencias.

Se han hecho pruebas prácticas en la corrección de la tercera teoría, comparando los resultados de un gran número de plantas y laboratorios. Aunque esto mostro que el índice de trabajo entra en un amplio rango de tamaños y la operación permanece sustancialmente constante o varía de una manera pronosticable y explicable, entonces la tercera teoría constituye la ley fundamental de la desintegración. Estas semejanzas no pudieron ser de-

1.5.3.4. Uso del Índice de Trabajo.

El Índice de trabajo puede ser calculado por pruebas y métodos de laboratorio, mostrando que puede ser evaluado por cualquier operación usando la ecuación 5, partiendo de un tamaño de alimentación y un tamaño del producto; y el trabajo consumido - en kw-hr/ton requerido para cualquier reducción puede ser calculada por la ecuación 6, que evalúa el W_i . La corrección debe aplicarse cuando la alimentación es seleccionada.

Cuando los resultados del laboratorio o de la planta muestran una apreciable y consistente diferencia en el Índice de trabajo a tamaños diferentes de producto, esto nos puede indicar la diferencia en las características de ruptura, entonces el índice de trabajo debe ser apropiado para ser usado.

Un índice de trabajo elevada para una alimentación seleccionada o pretriturada puede indicar la concentración de fracciones duras en ésta, y para poder confirmarlo es necesario contar con pruebas adicionales que se tienen que hacer en el laboratorio.

Analizando a cada una de las variables como son; usando diferentes máquinas, utilizando tamaños diferentes de la alimentación, tamaños diferentes de barras y molinos, así como cambios de circuitos y circulación diferente de carga; se puede establecer el índice de trabajo utilizando factores de corrección para cada una de las variables.

El índice de trabajo de los materiales se obtiene evaluando y estudiando detalladamente la información de la trituración y molienda.

La determinación de la eficiencia mecánica de las máquinas es importante en las evaluaciones para el posible ahorro de máquinas nuevas y en los métodos.

El índice de trabajo expresa principalmente la resistencia de un material a romper.

1.6. GENERALIDADES DEL MAÍZ Y SORGO.

1.6.1. Generalidades del maíz.

Maíz. Es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas, clase monocotiledóneas especie Zea mays; en la norma establece las condiciones y características que debe reunir el maíz, en todas sus variedades, una vez desgranado. (22).

La composición química del maíz según Tabla 87 de N.L.Kent-es:

Producto	%
grano de maíz	
Humedad	10.8
proteína	10.0
grasa	4.3
fibra cruda	1.7
cenizas	1.5
CHOs	71.7

Fuente; Woods.

En México la superficie sembrada con maíz en 1985 fue aproximadamente 8'365,957 ha., tanto de riego como de temporal y se obtuvo una producción de 14'103,454 toneladas, con un rendimiento promedio de 1.858 ton/ha esto fue para el año agrícola (primavera-verano y otoño-invierno).

Los estados con mayor producción en toneladas de maíz, en grano en el año 1985 fue el estado de Jalisco, el segundo el estado de México, Chiapas, Puebla, Michoacán, Guerrero y así sucesivamente.

Las variedades que a continuación se describen son con las que se trabajaron en la presente tesis, posteriormente se da una explicación del porque de la selección.

H-30 . Que por su precocidad , es el más similar a los criollos blancos precoces de Valles Altos , a alturas no mayores de 2300 metros se desarrollan, esto sobre el nivel del mar; alcanzando su madurez entre los 130 y 140 días. El híbrido 30 es de grano blanco, las plantas no se acaman ni enferman. Es apto para siem-

bras de temporal, también puede cultivarse bajo condiciones de riego, debido a que su rendimiento, es similar al de los híbridos tardíos, además madura un mes antes que éstos. Es un híbrido doble para siembras de temporal en la Mesa Central como Texcoco, Zumpango, Chalco, Otumba y los Estados de México, Puebla y Tlaxcala. Las plantas alcanzan una altura promedio de 2.5 m., con tallos de colocación frecuentemente morada y pubescente. Las hojas son de color verde oscuro, con el sistema radicular bien desarrollado. Las espigas tienen pocas ramificaciones. El grano es dentado y cremoso. El olote grueso, el ciclo vegetativo depende de la altura sobre el nivel del mar.

H-28 . La planta es de una altura de 2.0 a 2.5 m, con hojas de color verde oscuro, tallos generalmente color morado y pubescente (velludos), espiga poco ramificada, las mazorcas se insertan entre 1.5 y 1.6 .. los estigmas son verdes en un 97% y rojos en un 3%. Tolera bajas temperaturas y excesos de humedad, si no son muy prolongados.

Se cultiva en los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán, en los poblados de Valles Altos del Bajío, en altitudes mayores a los 2100 m. sobre el nivel del mar, también en México, Puebla, Tlaxcala, en regiones con altura sobre el nivel del mar alrededor de 2250 m en el ciclo vegetativo intermedio. Es un híbrido muy preferido para siembras de "punta de riego" en Valles como Texcoco, Zumpango, Chalco y Otumba.

H-220 . La planta tiene una altura de 2.0 a 2.7 m., con las hojas erectas de color verde oscuro, con sistema radicular bien desarrollado, Tallos delgados, con la inserción de la mazorca de 1.3 a 1.4 m.; es tolerante a la sequía, a las plagas y enfermedades en general, es susceptible a las heladas y a los excesos de humedad. El grano es de color crema dentado, Es un híbrido para riego y para temporal regular, o para siembras de punta de riego. Su precocidad oscila entre los 115 y 125 días; cualidad que los define como maíces adaptados a las condiciones de suelo y agua de la

zona semiárida, así como a la de temporal, eficiente del resto del Bajío, ofrece un buen rendimiento.

Se cultivan en los estados de Aguascalientes en la región del Pabellón y los Llanos con su ciclo vegetativo intermedio y precoz.

En Durango en las regiones de Gpe. Victoria, Villa Unión, Fco. I. Madero, y su ciclo vegetativo es intermedio y precoz. En Guanajuato, Querétaro, Michoacán en las regiones de alturas intermedias -- del Bajío, en el ciclo vegetativo intermedio. Jalisco en las regiones del Valle de Guadalajara, Zapopan, la Barca y el ciclo vegetativo es el intermedio y precoz. Morelos en las regiones con altura sobre el nivel del mar entre los 1600 a 1900 m., ciclo vegetativo precoz. Nayarit en el Valle Compostela en el ciclo vegetativo intermedio y precoz. En Oaxaca en los Valles Centrales, Reyes Mantecón su ciclo es tardío. Zacatecas en la región Calera con ciclo -- vegetativo precoz e intermedio.

H-366. Las plantas tienen una altura entre 3.5 a 3.8 m., lo cual -- le da la característica de forrajero, los tallos son vigorosos, --- con hojas de color verde. La mazorca de forma cilíndrica se inserta a una altura aproximada de 2m. El grano es blanco y dentado. En las zonas en donde se producen son:

En Aguascalientes en la región de Pabellón, Llanos y el ciclo es tardío. Guerrero a alturas 1300 a 1500 m. sobre el nivel del mar, y en la zona centro con altitudes entre 1600 a 1900m. sobre el nivel del mar, ciclo vegetativo tardío. Jalisco en el Valle de Guadalajara, Zapopan, La Barca, Valle Unión de Tula, ciclo vegetativo tardío. Oaxaca en los Valles Centrales, Reyes Mantecón, ciclo vegetativo tardío. Zacatecas en la región de Calera, ciclo vegetativo tardío.

VS-22. Variedad Sintética, produce mazorcas de 19 a 25 cm de largo de color cremoso y rinde de 2400 a 7500 kg de grano por hectárea, se sugiere para siembras tempranas. Las plantas son de tallo ovalado de color verde oscuro, morado intenso y pubescente. El rendimiento es ligeramente inferior al del H-28, por lo cual, si se uti

liza de manera adecuada en la siembra; temprana de humedad y de temporal en los Valles Altos supera al criollo.

Es una variedad sintética de polinización libre, de ciclo semi-tardío y alto rendimiento. Tolera a la sequía y a las bajas temperaturas; se recomienda para los Valles Altos de los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, México, en regiones con alturas de 2250 a 2500 m. sobre el nivel del mar.

1.6.2. Generalidades del Sorgo.

Sorgo: Grano procedente de cualquier variedad de la gramínea Sorghum vulgare. (21).

Los sorgos graníferos tienen granos relativamente grandes, que se separan de las glumas con más facilidad que los de escoba, los forrajeros y las diversas variedades de azucarados. Los granos en general son blancos, amarillos, café, y mezclados.

Los sorgos graníferos se caracterizan por las raquis ramificadas y glumas pilosas, y por los granos aplastados y tallos secos, a diferencia de los sorgos de escoba o escoberos que se caracterizan por presentar raquis muy cortos y ramificaciones muy largas. Los granos son pequeños y casi encerados en glumas muy largas y elipsoides.

Su composición química según cuadro 16.3 de Wall J.S. y William.

Producto	%
sorgo-grano entero	
Humedad	13.3
proteína	9.6
grasa	3.4
fibra cruda	2.2
cenizas	1.5
CHOs.	70.0

Fuente: Datos de Hanh Inéditos

Los usos del sorgo son generalmente: como alimentos reforza

dos (mejorando la calidad proteica en los alimentos a base de -- maiz), sustituto del arroz (incorporando en forma de harinas), a alimento para desayuno (combinándola con la sémola), en panade--- rías intentando reemplazar a el trigo; también se usa como ligan te para salchichas (entre las grasas y proteínas), en jarabes y dextrosa cristalina, en la fabricación de cerveza , en fermenta--- ciones, etc. (25).

Con respecto a la producción podemos decir que la superfi--- cie sembrada en México fue de 2'060,135 ha. durante el año agrí--- cola 1985, tanto de riego como de temporal, y la superficie cosechada de 1'862,140 ha., lo que da una gran diferencia y se ve claramente que existe una gran pérdida de granos; el rendimien--- to fue de 3.543 ton/ha y la producción 6'596,708 toneladas. (17,18,19)

A nivel nacional , el sorgo continúa incrementando su impor--- tancia, debido a su gran demanda para la producción de alimentos balanceados.

Las variedades de sorgo que se estudiaron en la presente -- tesis son: VA-110, S-E-Deer, H-220.

H-220. Estos son disponibles para el bajo y trópico, ya que no soportan las bajas temperaturas, quedando estériles si la su--- fren.

VA-110. Valles Altos 110 tiene un ciclo de 150 a 160 días a la - cosecha, son muy prolíficos y variables en altura de panojo y ma--- durez. Las regiones sorgueras se encuentran en altitud superior a 1800 m sobre el nivel del mar. Su rendimiento comercial en pun--- ta de riego y buen temporal es alto y baja en temporal crítico, su color es café oscuro. Los estados productores de ésta varie--- dad son: México, Hidalgo, Tlaxcala, y el Distrito Federal.

S-Escobero Deer. Presenta un raquis corto y sus ramificaciones - son largas,; los estados en donde se produce esta variedad de sor--- go son: Hidalgo, Tlaxcala, y el Estado de México.

CAPITULO II.- DISEÑO EXPERIMENTAL.

2.1. Objetivos.

Los objetivos de la presente tesis son:

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar los índices de trabajo de cinco variedades de maíz - (Zea mays) y tres variedades de sorgo (Sorghum vulgare), a diferentes condiciones, analizando y evaluando la influencia que tiene cada uno de éstos.

OBJETIVO PARTICULAR 1:

Determinar el diámetro de partícula promedio de la alimentación de cada una de las diferentes variedades, para caracterizar de ésta forma a la materia prima.

OBJETIVO PARTICULAR 2:

Calcular y analizar la influencia que se tiene en el índice de trabajo, en los diversos materiales a diferentes condiciones.

HIPOTESIS GENERAL:

El diámetro de partícula de la alimentación, velocidad de alimentación (T), abertura de la criba (Ab criba), son factores que afectan a las características de la molienda; y directamente a la energía consumida, entonces, al variar cualquiera de éstas variables se verá afectado el Índice de Trabajo; por lo que se espera valores diferentes de cada una de las variedades.

Para llevar a cabo el Objetivo Particular 2 se propuso los siguientes objetivos específicos.

OBJETIVO ESPECIFICO 1:

Determinar el índice de trabajo W_i del maíz y sorgo con diferentes diámetros de partícula de la alimentación (diferentes variedades).

OBJETIVO ESPECIFICO 2:

Determinar el índice de trabajo de los diversos materiales, variando la abertura de la criba.

OBJETIVO ESPECIFICO 3:

Determinar el índice de trabajo de las diferentes variedades de maíz y sorgo variando la velocidad de alimentación (T).

Los factores que afectan a las características de molienda son:

- Diámetro de partícula de la alimentación (F)
- Velocidad de alimentación (T)
- Abertura de la criba
- Tipo de molino
- Potencia del molino
- Características del grano (dureza, estructura, higroscopicidad, sensibilidad a la temperatura, variedad, etc).

2.2. Metodología:

2.2.1. Muestra: Las muestras con que se trabajaron se obtuvieron de la Productora Nacional de Semillas PRONASE, el criterio de selección de la materia prima consistió en adquirir muestras de cada una de las diferentes zonas agrícolas, las cuales se encuentran debidamente certificadas, esto con la finalidad de asegurar la procedencia así como la pureza de la misma.

Las variedades adquiridas de maíz fueron las siguientes: H-366, H-30, VS-22, H-28, H-220 y las de sorgo VA-110, S-Escobero Deer, y H-220.

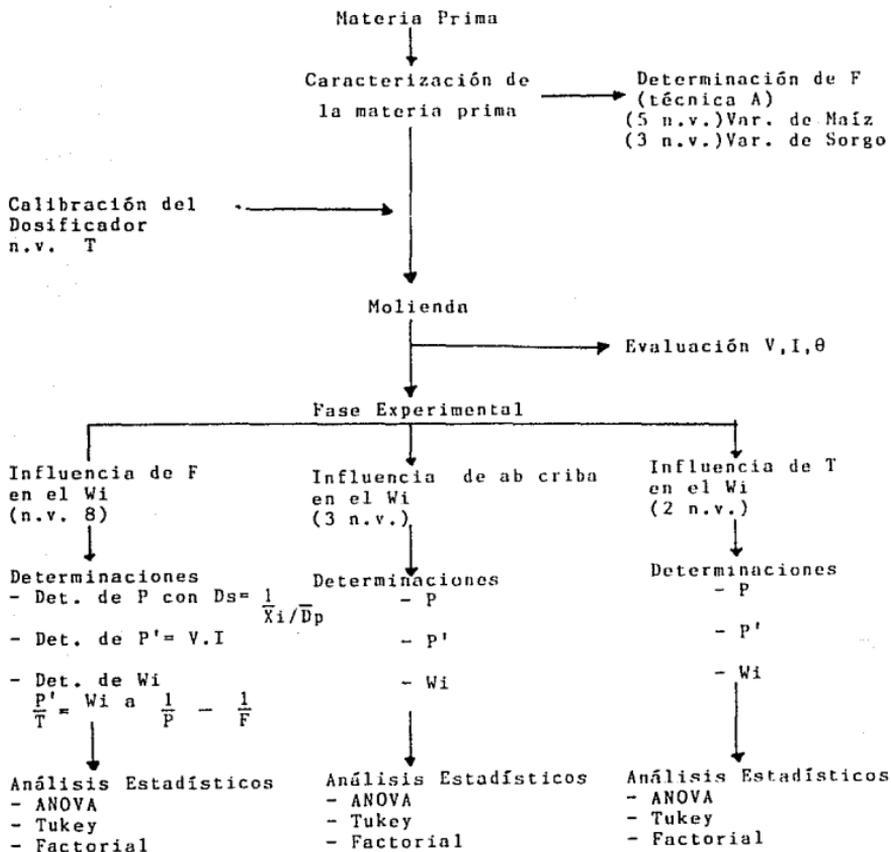
Se seleccionó al maíz y al sorgo principalmente porque el maíz es un producto de alto consumo nacional e indispensable para la alimentación humana y al sorgo porque es un producto muy diversificado y tiene una gran demanda para la producción de alimentos balanceados.

La cantidad obtenida de cada una de las variedades fue de 10 kg. Las características de éstas variedades se encuentra en páginas anteriores.

A continuación se muestra un cuadro metodológico de la experimentación.

2.2.2.

CUADRO METODOLOGICO



En función de la secuencia metodológica, se efectuó el primer experimento, bajo las siguientes condiciones, considerando -- las siguientes variables.

Para el experimento 1; en donde se ve la influencia de F en el W_i .

Variable independiente: Diámetro de partícula de la alimentación (F) . De las 5 variedades de maíz y 3 de sorgo.

Variable dependiente: EL índice de trabajo (W_i)

V. Constantes: Abertura de la criba (10, 20, 40)
Velocidad de alimentación (T_1 y T_2)
Tipo de molino

Para el experimento 2; en donde se desea ver la influencia - de la abertura de la criba en el W_i .

Variable independiente: Abertura de la criba (10, 20, 40)

Variable dependiente: El índice de trabajo (W_i)

V. Constantes: F (maíz y sorgo)
Velocidad de alimentación (T_1 y T_2)
Tipo de molino.

Para el experimento 3: La influencia de la velocidad de alimentación (T) en el índice de trabajo.

Variable independiente: Velocidad de alimentación (T_1 y T_2)

Variable constante : F (maíz y sorgo)
Abertura de la criba (10,20,40)
Tipo de molino (molino de martillos)

Variable dependiente: Índice de Trabajo (W_i).

Haciendo sus respectivas mediciones (ver cuadro metodológico). A continuación se muestra el diagrama de experimentación.

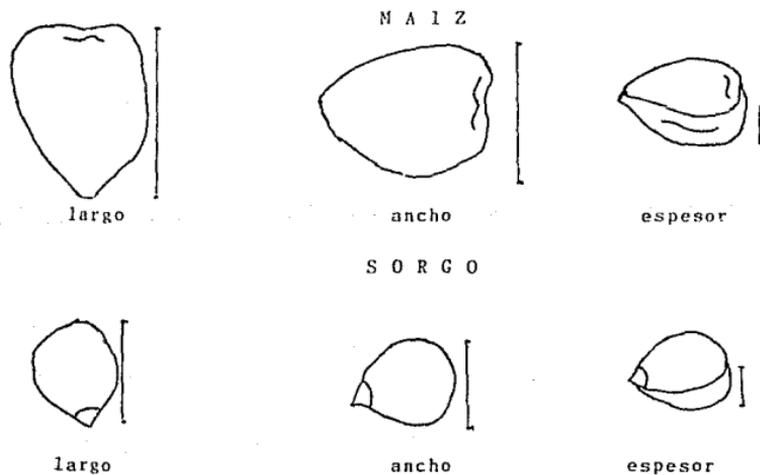
2.2.3. Métodos.

2.2.3.1. Evaluación del tamaño de la Muestra: Para determinar el diámetro de partícula se toma en cuenta la Técnica A, que explico anteriormente, la cual consiste en la medición directa del material; por lo que se hicieron las mediciones lineales de los granos, largo, ancho, espesor. Esto se hizo con la finalidad de caracterizar a la materia prima. Asimismo, se toma en cuenta lo dicho por Brown (8) que a la letra dice: "Para las partículas de formas irregulares, presentes en las operaciones de tamizado [diámetro] es generalmente la segunda de las dimensiones mayores de la partícula".

Las mediciones de los granos se hicieron con un calibrador con carátula con una precisión de $0.01 \times 10 \text{ mm.}$, se tomo lotes de 50 granos haciendo sus réplicas por triplicado, para cada una de las variedades de maíz y de sorgo.

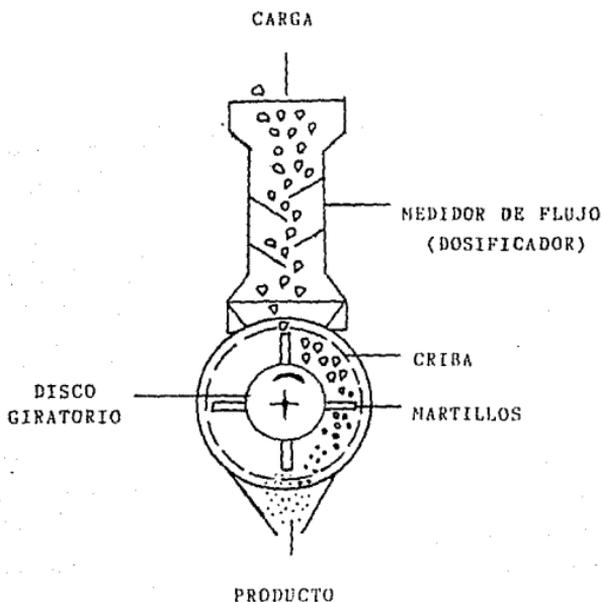
Los granos se midieron de la siguiente forma:

Fig 1. Esquema de granos de Maíz y Sorgo



2.2.3.2. Calibración del dosificador: La finalidad de usar un dosificador es principalmente regular la velocidad de alimentación así como asegurar que ésta caiga libremente al molino sin dañar a la muestra, teniendo un control seguro de ésta. El uso del dosificador evita que no existan indebidos apelmazamientos, para no tener una alimentación obstruída. La calibración tiene como finalidad principal, medir el tamaño del error; para esto la calibración consistió en medir la velocidad de alimentación, su tiempo y su masa, la segunda se mantuvo constante. Se selecciono dos velocidades de alimentación, la más rapida y la más lenta, todo esto en base a la velocidad de alimentación que maneja el molino de martillos (400 g/min); esto se hizo para muestras de maíz y sorgo, las repeticiones se hicieron 20 veces, determinando su desviación estándar.

Fig 2. Esquema de la sección transversal del molino de martillos y dosificador en funcionamiento



2.2.3.3. Descripción del proceso de molienda: Se trabajó con un molino de martillos móviles con las siguientes características: Marca Burrows Equipment Company, Gould Century motor, - con una potencia de 1 HP, 3450 rpm, voltaje 115/230 y amperaje de 12.0/6.0. El molino de martillos es un molino de impacto que utiliza un disco giratorio de alta velocidad, al que se han fijado un cierto número de martillos o barras, que son dirigidos hacia afuera por la fuerza centrífuga. El material a tratar se introduce por la parte superior en el centro, y es lanzado hacia afuera por la fuerza centrífuga, en donde se tritura al ser golpeado por los martillos al chocar. El material es golpeado hasta que su tamaño es suficientemente inferior a la de la criba.

La masa de alimentación fue de 200 g., la molienda se paró - cuando se obtuvo o se recuperó el 80% de la alimentación.

La molienda consistió en colocar la criba seleccionada, llevar a cabo ésta bajo las condiciones antes mencionadas, y hacer - sus mediciones respectivas que más adelante se mencionan.

2.2.3.4. Evaluación de la potencia consumida: Para calcular la potencia consumida, el molino de martillos se conectó a la corriente eléctrica; instalando el voltaje en paralelo y el amperaje en serie. En el arranque se midió su intensidad de corriente y después se va midiendo ésta en períodos cortos de tiempo. Las ecuaciones para calcular la potencia consumida son:

$$P' = V \cdot I$$

$P' \{ = \} \text{ watts}$
 $V \{ = \} \text{ volts}$
 $I \{ = \} \text{ amp}$

El factor de corrección que se uso para convertir los watts en -- HP . 1 watt = 1.3405×10^{-3} HP.

El aparato que se utilizó para medir la intensidad de corriente fue un amperímetro de gancho.

2.2.3.5. Evaluación del diámetro del producto: Para determinar y conocer el diámetro del producto (P) fue necesario realizar un tamizado, con los datos obtenidos en éste se conoció a \bar{D}_p , que es el diámetro promedio; con la ecuación que a continuación se muestra se determinó.

$$\bar{D}_p = \frac{Ab_1 + Ab_2}{2}$$

en donde Ab_1 es la abertura de las mallas por las que pasaron las partículas y Ab_2 por las que se retuvieron las partículas.

Conociendo el \bar{D}_p y X_i (fracción retenida), que se obtiene -- del análisis granulométrico, se calculó el sauter medio ó diámetro medio superficial (D_s) con la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\bar{D}_p}}$$

donde $D_s = P$ (diámetro del producto).

2.2.3.6. Evaluación del W_i : Con las ecuaciones anteriores y los datos correspondientes, se procedió a evaluar a el índice de trabajo; para esto fue necesario retomar las ecuaciones - 3,4 y la ecuación 5 que dice:

$$W = W_i \left[\frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \right] \dots (5)$$

y recordando que para evaluar el índice de trabajo hay que considerar el factor de corrección para cada criba, por lo que a éste se denota con la letra "a", y la ecuación queda de la siguiente - forma:

$$W = W_i \left[\frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \right] a \dots (8)$$

por comodidad la ecuación anterior se expresa en los siguientes - términos:

$$\frac{P'}{T} = W_i a \left[\frac{1}{\sqrt{F}} - \frac{1}{\sqrt{P}} \right] \quad \begin{array}{l} P' [=] \text{ HP} \\ T [=] \text{ Ton/hr} \\ F \text{ y } P [=] \text{ ft.} \end{array}$$

en donde T es la velocidad de alimentación, P' es la potencia consumida, y F y P es el tamaño de la alimentación y del producto respectivamente.

2.2.3.6.1. Cálculo del Factor de corrección de las diversas cribas utilizadas.

Como para evaluar a el índice de trabajo se necesita calcular el factor de corrección de cada una de las cribas, el "a" de la ecuación del Wi, a continuación se muestra éste calculo.

Las cribas fueron:

Criba #	Malla	Ab (mm)	Ab (in)	Ab (μ)
	10	1.65	0.065	1650
	20	0.833	0.0328	833
	40	0.380	0.015	380
2		2.0	0.0787	2000

Partiendo de la ecuación 8 que dice:

$$\frac{P'}{T} = W_i a \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right]$$

y tomando en cuenta el principio fundamental de la tercera teoría de Bond en su ecuación 2 se tiene que:

$$W = \frac{K}{\sqrt{P}}$$

donde P es el diámetro del producto, y K representa una constante de proporcionalidad; despejando el término K se tiene: -----

$$K = \sqrt{P} W$$

y haciendo un análisis dimensional para P tenemos; para cada criba utilizada:

Para obtener diámetro de partículas menor, las cribas que se utilizaron se farraron con telas de malla normalizadas.

Para la criba de malla 10#

$$P = 1650 \mu \left| \frac{10^{-4} \text{ cm}}{1 \mu} \right| \left| \frac{1 \text{ ft}}{30.48 \text{ cm}} \right| = 0.0054 = 0.0736 \text{ ft}^{1/2}$$

y como $K = P \cdot W$ y W está en kw-hr/ton , entonces $K = 0.0736 \frac{\text{kw-hr ft}^{1/2}}{\text{ton}}$

$$0.0736 \frac{\text{kw-hr. ft}^{1/2}}{\text{ton}} \left| \frac{1 \text{ HP}}{0.746 \text{ kw}} \right| \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| = 5.9196 \frac{\text{min. ft}^{1/2}}{\text{ton}}$$

Esto se hizo para las diferentes cribas entonces se tiene:

	FACTOR
Para la criba malla # 10	5.9196
Para la criba malla # 20	4.2064
Para la criba malla # 40	2.8391
Para la criba de ab 2	6.5147

De ésta manera la ecuación final para calcular a el índice de trabajo es:

ECUACION DEL INDICE DE TRABAJO

$$\text{Para la criba malla # 10} \quad \frac{P'}{T} = 5.9196 W_i \left| \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right|$$

$$\text{Para la criba malla # 20} \quad \frac{P'}{T} = 4.2064 W_i \left| \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right|$$

$$\text{Para la criba malla # 40} \quad \frac{P'}{T} = 2.8391 W_i \left| \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right|$$

$$\text{Para la criba de Ab 2} \quad \frac{P'}{T} = 6.5147 W_i \left| \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right|$$

2.2.3.7. Análisis Estadístico: Para el análisis estadístico se empleó el ANOVA, el cual es un procedimiento aritmético que divide la variación total manifestada para un conjunto de datos, en fuentes reconocibles de variación, tales como diferencias de tratamientos, de clasificación y de error experimental. Con los datos del ANOVA se hicieron pruebas de significancia de las diferencias, para esto se utilizó la prueba de Tukey, y finalmente se utilizó el Análisis Factorial que permitió observar si existe interacción entre los tratamientos involucrados, en éste caso (F, Ab criba, T).

Las replicas se hicieron por triplicado; las hipótesis del ANOVA que se plantearon fueron:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_n$$

H_1 : por lo menos dos de las medias son iguales.

Las hipótesis del análisis factorial:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } \alpha_i = 0$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } \beta_j = 0$$

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } \gamma_k = 0$$

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } (\alpha\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

$$H_a: \text{no todos los } (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

$$\text{sea } \alpha = 0.05 \text{ y } \beta = 0.01.$$

CAPITULO III.- RESULTADOS

1.-Al analizar las mediciones lineales de los granos de maíz y de sorgo, para determinar el diámetro de partícula de la alimentación F, se tuvo los siguientes resultados; la segunda dimensión mayor fue el ancho para los granos de maíz y de sorgo, el largo -- fué la primera y la tercera dimensión fue el espesor. Esto se hizo para los 3 lotes de 50 granos cada uno, midiendo como se dijo anteriormente su largo, ancho y espesor; pero como la dimensión -- que más interesa para la determinación de F, que nos sirve para -- la caracterización de la materia prima, sólo reporté los datos -- del ancho. Esto se hizo para cada una de las variedades.

Tabla 1. Datos obtenidos de F

VARIEDAD	ANCHO (ft)	
<u>MAIZ</u>	\bar{x}	σ
H-366	0.0275	0.0029
H-28	0.0239	0.0028
H-30	0.0239	0.0025
H-220	0.0244	0.0009
VS-22	0.0229	0.0016
<u>SORGO</u>		
VA-110	0.0121	0.0007
S-E-Deer	0.0121	0.0005
H-220	0.0141	0.0011

Los valores de la desviación estándar para las variedades -- de maíz y de sorgo muestra que los valores no se dispersan o di-- seminan, esto es que para valores pequeños de desviación están -- dar muestra que existe una alta concentración de las observacio-- nes alrededor de la media.

Los resultados del análisis estadístico que se efectuó fue-- ron los siguientes:

Tabla 2. ANOVA de F		
	Fc	significancia
Maíz	30.25	*
Sorgo	483.15	**

Por lo que se rechaza H_0 ; que dice que por lo menos dos de las medias son iguales. Y aplicando a Tukey se tuvo:

Para el maíz $K=2.1385$, y para el sorgo $K=6.64 \times 10^{-1}$,

Tabla 3. Prueba de Tukey para la det. de F.

Diferencias entre medias	significancia	Diferencias entre medias	signif.
$A_1 - A_2$	n.s.	$A_3 - A_4$	n.s.
$A_1 - A_3$	n.s.	$A_3 - A_5$	n.s.
$A_1 - A_4$	n.s.	$A_4 - A_5$	n.s.
$A_1 - A_5$	n.s.	$A_6 - A_7$	n.s.
$A_2 - A_3$	n.s.	$A_6 - A_8$	n.s.
$A_2 - A_4$	n.s.	$A_7 - A_8$	n.s.
$A_2 - A_5$	n.s.		

n.s. diferencia no significativa * significativo **altamente significativo

Calibración del dosificador. Se tomó como base la velocidad que maneja el molino de martillos (400 g/min), los resultados de esto tomando a la velocidad más rápida y mas lenta y como masa de alimentación de 200 gr. fue de 4×10^{-4} y 6×10^{-4} ton/min, a éstos datos se le aplicó la desviación estándar, siendo esta muy - baja lo cual indica que existió una alta concentración de las observaciones alrededor de la media. A continuación se muestran los datos obtenidos de ésta calibración.

Masa (200g)		θ seg	T (g/seg)	T (ton/min)		σ
$T_1=M_1$	Maíz	29.40	6.8	4.08×10^{-4}	$= 4 \times 10^{-4}$	1.10
$T_2=M_2$	Maíz	19.70	10.15	6.09×10^{-4}	$= 6 \times 10^{-4}$	1.2
$T_1=M_3$	Sorgo	29.75	6.7	4.03×10^{-4}	$= 4 \times 10^{-4}$	1.3
$T_2=M_4$	Sorgo	19.6	10.2	6.12×10^{-4}	$= 6 \times 10^{-4}$	1.05

Tabla 4. Datos del Índice de Trabajo
promedio obtenidos a diferentes condiciones
(kw-hr/ton)

No. exp.	Wi(X)	No. exp	Wi(X)
1	9.6905	25	10.6
2	7.1061	26	6.2416
3	13.8430	27	12.8625
4	10.3763	28	12.4432
5	22.6050	29	22.1131
6	17.3691	30	19.4490
7	9.2408	31	9.3323
8	7.4361	32	7.2351
9	13.0871	33	11.0437
10	10.9638	34	9.7936
11	20.6586	35	19.7147
12	17.8874	36	12.3666
13	10.2786	37	10.4240
14	7.197	38	6.5212
15	13.43	39	13.7151
16	11.4961	40	10.7541
17	19.8502	41	21.6839
18	17.6786	42	18.1684
19	10.1385	43	9.2793
20	7.6696	44	8.0366
21	13.0578	45	14.0785
22	10.6861	46	12.3221
23	21.2743	47	20.3404
24	16.0910	48	14.8026

Nota: Para cada experimento su réplica se hizo por triplicado.

En base a lo anterior, se observa que la diferencia entre -- los diámetros de partícula de la alimentación F, es no significativa. En la tabla 4 se muestran los valores del Índice de trabajo. 2.- Los resultados del ANOVA del experimento 1; en el cual se vió la influencia del diámetro de partícula de la alimentación en el índice de trabajo, siguiendo el diagrama de experimentación, variando a F y recordando que para la abertura de la criba se tiene tres niveles y para la velocidad de alimentación (T) se tiene dos niveles, manteniéndose éstos constantes, se tuvo que enumerar los experimentos y manejarlos como tratamientos, esto con la finalidad de interpretar más fácilmente los resultados, que a continuación se muestran:

Tabla 5. ANOVA. Influencia de F
en el Índice de Trabajo

V. Ctes.	No. Exp.	Tratamiento	Fc	significancia
B ₁ C ₁	(1,7,13,19,25)	A	3.9309	*
B ₂ C ₁	(3,9,15,21,27)	B	1.1301	n.s.
B ₃ C ₁	(5,11,17,23,29)	C	1.6111	n.s.
B ₁ C ₂	(2,8,14,20,26)	D	15.4103	**
B ₂ C ₂	(4,10,16,22,28)	E	2.2023	n.s.
B ₃ C ₂	(6,12,18,24,30)	F	3.1723	n.s.
B ₁ C ₁	(31,37,43)	G	7.4633	*
B ₂ C ₁	(33,39,45)	H	12.0157	**
B ₃ C ₁	(35,41,47)	I	1.1506	n.s.
B ₁ C ₂	(32,38,44)	J	7.6642	*
B ₂ C ₂	(34,40,46)	K	5.0732	n.s.
B ₃ C ₂	(36,42,48)	L	47.664	**

n.s. diferencia no significativa

* diferencia significativa

** diferencia altamente significativa.

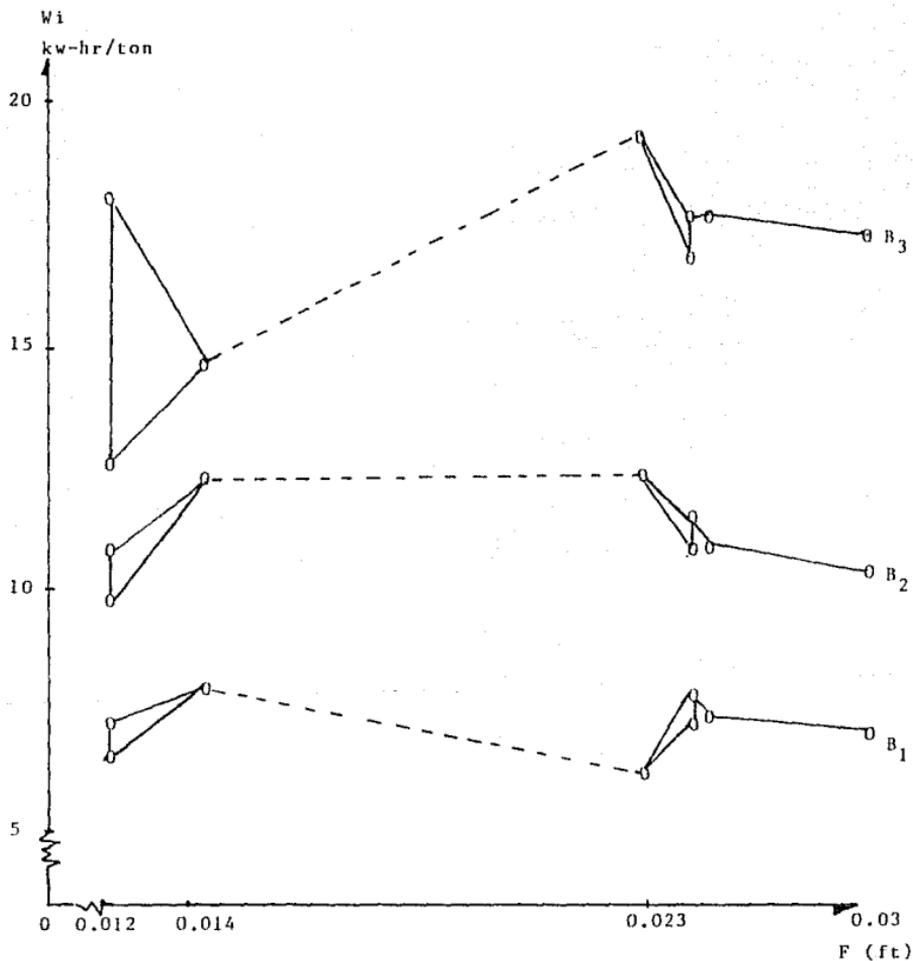
Tabla 6. Prueba de Tukey
Influencia de F en el W_i

Tratamiento	Diferencia entre medias (de los exp.)	Significancia	Valor de Tukey.
A	7 - 25	$7 < 25$	1.2484
B	2 - 26	$2 > 26$	0.6446
	8 - 26	$8 > 26$	
	14 - 26	$14 > 26$	
	20 - 26	$20 > 26$	
G	31 - 37	$31 < 37$	1.0264
	37 - 43	$37 > 43$	
H	33 - 39	$39 > 33$	2.0749
	39 - 45	$39 < 45$	
J		n.s.	1.8886
L	36 - 42	$36 < 42$	1.7445
	36 - 48	$36 < 48$	
	42 - 48	$42 > 48$	

Para las demás diferencias entre las medias de éstos tratamientos, su diferencia fue no significativa. Los datos se obtuvieron de la Tabla 4.

En la gráfica 1 se observa que tanto para el maíz como para el sorgo, las curvas para las condiciones (maíz, B_3 y B_2 con C_2) y para (sorgo B_1 y B_3 con C_2) su comportamiento es el mismo, y al realizar las comparaciones de los análisis estadísticos se ve que para éstos casos no existió diferencia significativa, y las curvas que van en sentido opuesto al analizar su ANOVA se observó que si hay diferencia significativa entre las medias; el valor que provocó este cambio o ésta diferencia de las medias entre los tratamientos fue el experimento M_7 , M_{25} , M_{26} provocando las diferencias entre los demás tratamientos a las mismas condiciones. Y pa-

Gráfica 1. Influencia de
(F) en el W_i
para el maíz y sorgo



ra el sorgo, los experimentos, 31,37,43 (tratamiento G); 33,39,45 (tratamiento H); 36,42,48 (tratamiento L), mostraron significancia, lo que indicó que existe diferencia significativa y difieren notablemente sus medias. Y para los experimentos 32,38,48 (tratamiento J); en ANOVA se rechazó su H_0 , y al aplicar a Tukey mostró diferencia no significativa; en la gráfica 1 se puede ver claramente que cuando se rechazó H_0 las curvas se comportaron de cierta manera y cuando se aceptó, las curvas iban en sentido opuesto totalmente. El punto que provocó el cambio fue $A_5B_1C_2$ y los puntos B_1C_2 y B_3C_2 de A_8 , $A_1B_3C_1$, $A_8B_2C_1$, y $A_8B_1C_1$.

3.- Los resultados del experimento 2; que consistió en ver la influencia de la abertura de la criba en el índice de trabajo, en el cual se mantuvo constante a las variedades de maíz y sorgo, así como a la velocidad de alimentación, los resultados del ANOVA fueron los siguientes: (de igual manera que el experimento 1, se enumeraron los experimentos en tratamientos, ésto de acuerdo al diagrama de experimentación).

Tabla 7. Influencia de
abertura de la criba en el índice de Trabajo
ANOVA

V. ctes.	No. exp.	Tratamiento	Fc	significancia
A ₁ C ₁	(1,3,5)	1	134.399	**
A ₂ C ₁	(7,9,11)	2	158.7431	**
A ₃ C ₁	(13,15,17)	3	60.7007	**
A ₄ C ₁	(19,21,23)	4	53.8234	**
A ₅ C ₁	(25,27,29)	5	9.0986	**
A ₁ C ₂	(2,4,6)	6	102.222	**
A ₂ C ₂	(8,10,12)	7	67.2515	**
A ₃ C ₂	(14,16,18)	8	265.4089	**
A ₄ C ₂	(20,22,24)	9	96.0190	**
A ₅ C ₂	(26,28,30)	10	142.1489	**
A ₆ C ₁	(31,33,35)	11	74.8664	**
A ₇ C ₁	(37,39,41)	12	116.3763	**
A ₈ C ₁	(43,45,47)	13	66.2137	**
A ₆ C ₂	(32,34,36)	14	101.1257	**
A ₇ C ₂	(38,40,42)	15	307.3154	**
A ₈ C ₂	(44,46,48)	16	31.5266	**

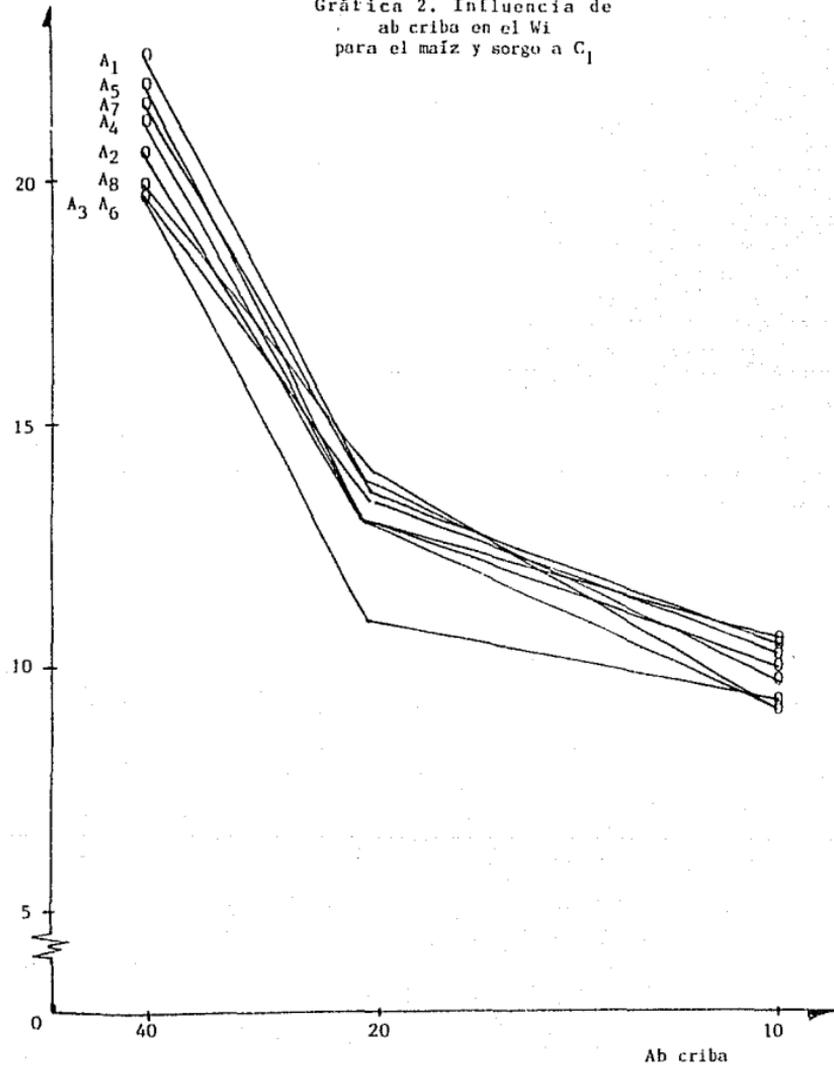
Tabla 8. Prueba de Tukey
Influencia de ab criba en el Wi

Tratamiento	significancia (entre \bar{X})	Valor de Tukey	Tratam.	significancia (entre \bar{X})	Valor de Tukey.
1	1 < 3	2.3942	9	20 < 22	1.8898
	1 < 5			20 < 24	
	3 < 5			22 < 24	
2	7 < 9	1.9825	10	26 < 28	2.4053
	7 < 11			26 < 30	
	9 < 11			28 < 30	
3	13 < 15	2.7485	11	31 < 33	2.8076
	13 < 17			31 < 35	
	15 < 17			33 < 35	
4	19 < 21	1.8898	12	37 < 39	2.3445
	19 < 23			37 < 41	
	21 < 23			39 < 41	
5	25 < 27	2.4053	13	43 < 45	2.9255
	25 < 29			43 < 47	
	27 < 29			45 < 47	
6	2 < 4	2.2505	14	32 < 34	1.1721
	2 < 6			32 < 36	
	4 < 6			34 < 36	
7	8 < 10	2.8138	15	38 < 40	1.4596
	8 < 12			38 < 42	
	10 < 12			40 < 42	
8	14 < 16	1.4036	16	44 < 46	2.6457
	14 < 18			44 < 48	
	16 < 18			46 < 48	
				48	n.s.

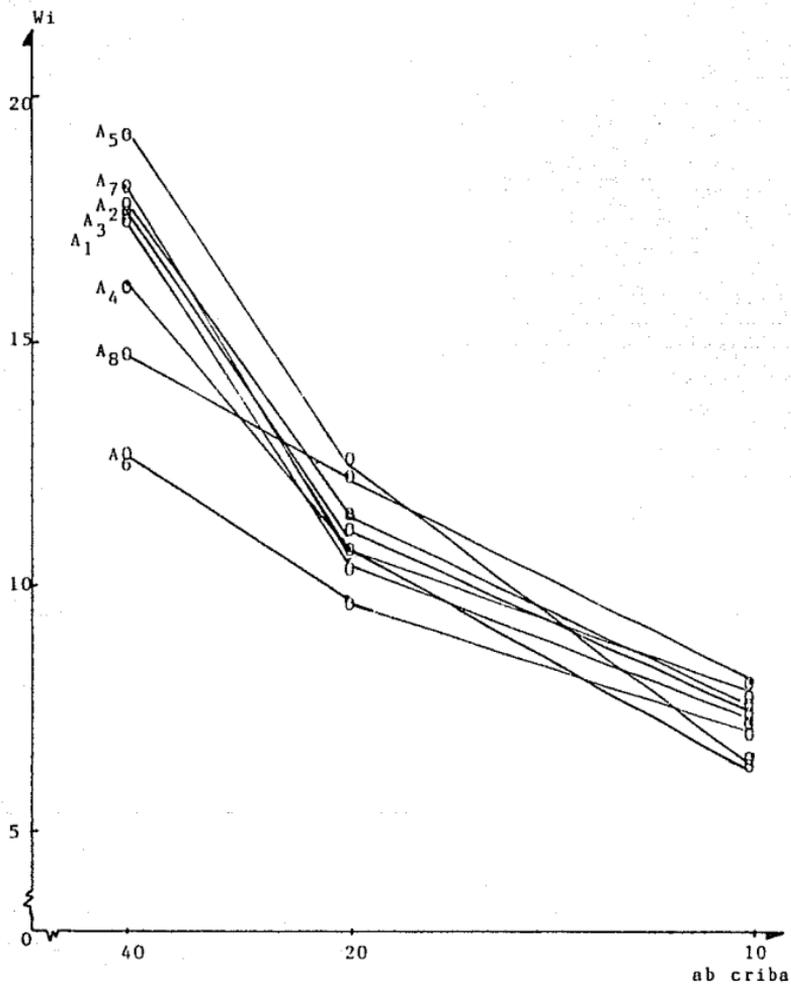
De éstos resultados se pudo observar que realizando el ANOVA, en todos los casos se rechazó su H_0 ; el cual dice que por lo menos dos de las medias son diferentes, y los resultados después de aplicar a Tukey mostró que las medias difieren notablemente, excepto -- para los experimentos entre 16 y 18. En la gráfica 2 que a continuación se muestra, relaciona a la abertura de la criba con el Wi.

Wi (kw-hr/ton)

Gráfica 2. Influencia de
ab criba en el Wi
para el maíz y sorgo a C₁



Gráfica 3. Influencia de
ab criba en el W_i
para el maíz y sorgo a C_2



En las gráficas 2 y 3 donde se graficó a la abertura de la criba contra el índice de trabajo, se pudo observar que entre menor es la abertura de la criba (B), mayor es el índice de trabajo. Esto es que para la criba (B₃), se tiene el índice de trabajo mayor y para la criba (B₁) fue menor su W_i.

4.- Los resultados del experimento 3 fueron: cuando se vió la influencia de la velocidad de alimentación en el índice de trabajo, manteniendo constante a F, y abertura de la criba, con respecto a su ANOVA lo siguiente:

Tabla 9. Influencia de T en el Índice de Trabajo										
ANOVA										
V.Ctes.	No. Exp.	Trat.	Fc	Sign.	V.Ctes.	No.exp.	Fc	Sign	Trat.	
A ₁	B ₁	(1,2)	I	106.02	**	A ₅	B ₁	(25,26)	4.1656	n.s. XIII
A ₁	B ₂	(3,4)	II	56.76	**	A ₅	B ₂	(27,28)	0.2986	n.s.XIV
A ₁	B ₃	(5,6)	III	20.97	*	A ₅	B ₃	(29,30)	3.83	n.s.XV
A ₂	B ₁	(7,8)	IV	56.74	**	A ₆	B ₁	(31,32)	22.74	** XVI
A ₂	B ₂	(9,10)	V	8.43	*	A ₆	B ₂	(33,34)	0.11	n.s.XVII
A ₂	B ₃	(11,12)	VI	5.52	n.s	A ₆	B ₃	(35,36)	53.73	** XVIII
A ₃	B ₁	(13,14)	VII	232.75	**	A ₇	B ₁	(37,38)	177.17	** XIX
A ₃	B ₂	(15,16)	VIII	5.69	n.s.	A ₇	B ₂	(39,40)	0.2	n.s.XX
A ₃	B ₃	(17,18)	IX	2.43	n.s	A ₇	B ₃	(41,42)	31.651	** XXI
A ₄	B ₁	(19,20)	X	62.71	**	A ₈	B ₁	(43,44)	13.62	* XXII
A ₄	B ₂	(21,22)	XI	34.98	**	A ₈	B ₂	(45,46)	0.02	n.s XXIII
A ₄	B ₃	(23,24)	XII	24.63	**	A ₈	B ₃	(47,48)	16.97	* XXIV

n.s. diferencia no significativa
 * diferencia significativa
 ** diferencia altamente significativa
 Trat. tratamiento.

A continuación se muestra los datos obtenidos al aplicar a - Tukey.

Tabla 10. Prueba de Tukey
Influencia de T en el W_i

Tratamiento	significancia (entre \bar{X})	Valor de Tukey	Trat.	significancia (entre \bar{X})	Valor de Tukey
I	1 > 2	0.6975	XI	21 > 22	1.1143
II	3 > 4	1.2787	XII	23 > 24	2.9027
III	5 > 6	3.1775	XVIII	35 > 36	2.6733
IV	7 > 8	0.6588	XIX	37 > 38	0.8149
V	9 > 10	2.0326	XVI	31 > 32	1.2221
VII	13 > 14	0.5613	XXI	41 > 42	1.7365
X	19 > 20	0.8664	XXII	43 > 44	0.9358
XXIV	47 > 48	3.7359			

De éstos resultados se vió en su ANOVA que para B_1 en la mayoría de los casos la diferencia fue significativa, en segundo lugar para B_3 y finalmente para B_2 , y al aplicar a Tukey la significancia es mayor para la criba B_1 a C_1 que para B_1 a C_2 .

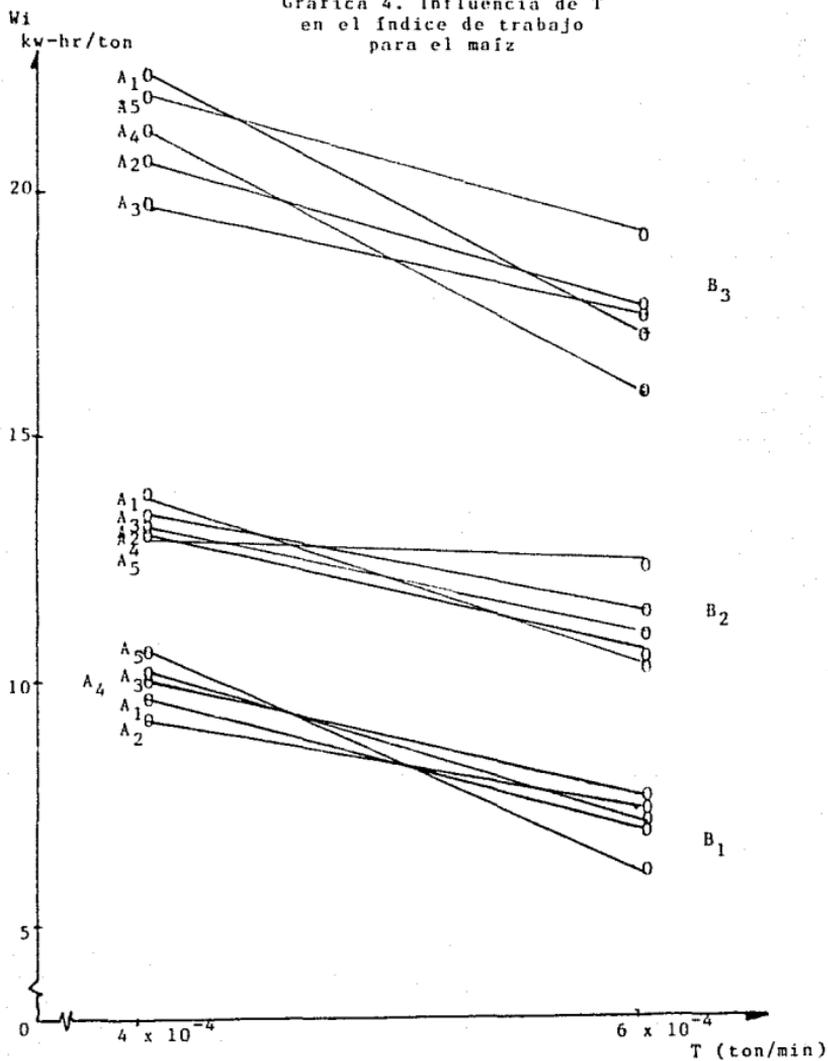
En las gráficas 4,5 se muestra el efecto de la velocidad de alimentación T, sobre el índice de trabajo. Observándose que para el maíz como para el sorgo a las mismas condiciones (B_1), los valores del índice de trabajo son bajos; para las condiciones de (B_2) tuvo valores medios y para (B_3) altos. Para todas las variedades de maíz y de sorgo el efecto de la de T fue muy similar.

Para las condiciones ($A_1 B_3$) y ($A_4 B_3$) las curvas son paralelas, y su comportamiento es muy similar; y para (A_3 y A_2 a B_3) sucede lo mismo que la anterior. Lo mismo sucede para las demás condiciones (B_1 y B_2), sus curvas siguen la misma tendencia, excepto para el caso de A_5 .

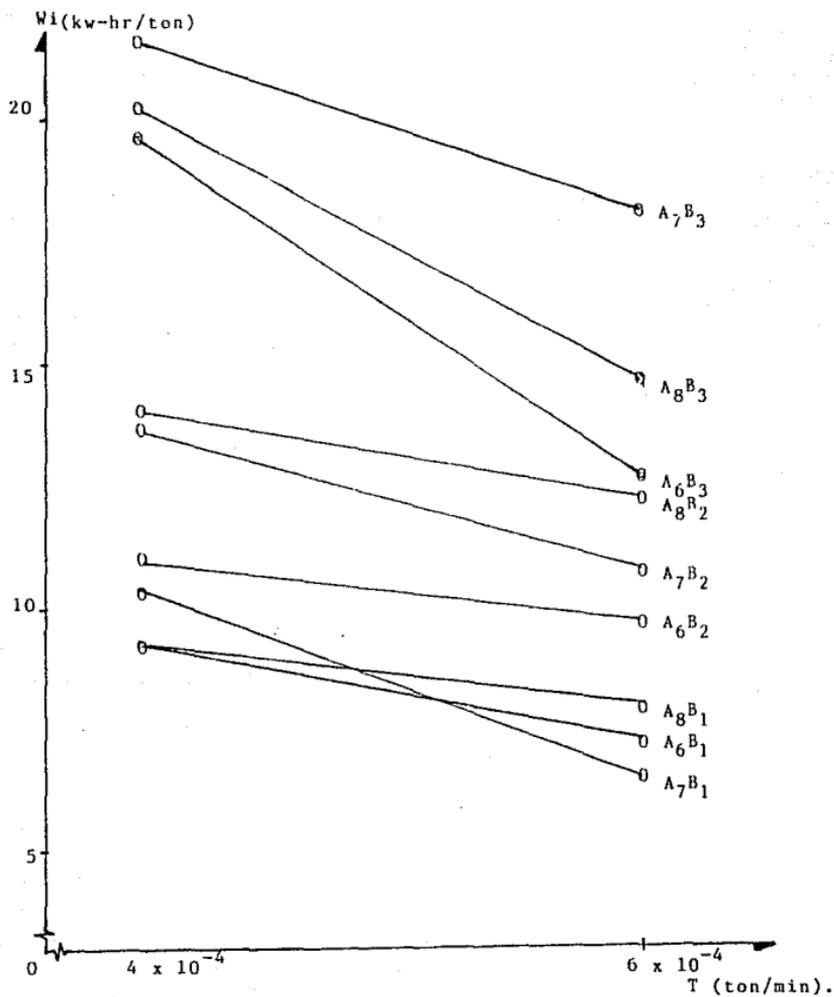
A velocidades de alimentación mayor el índice de trabajo es menor.

A continuación se muestra las gráficas 4 y 5, de el índice de trabajo contra la velocidad de alimentación, para las diferentes variedades de maíz y de sorgo.

Grafica 4. Influencia de T
en el índice de trabajo
para el maíz



Gráfica 5. Influencia de T
en el índice de trabajo
para el sorgo



5,- Los resultados del análisis factorial, en donde se vió que - existe interacción entre los tratamientos involucrados, en este - caso (F, Ab criba y T) fueron los siguientes:

FV	g.l.	significancia
A	7	*
B	2	**
C	1	**
AB	14	*
AC	7	*
BC	2	**
ABC	14	*

Como se rechazó $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8$, se - concluye que existen diferencias entre los niveles A, es decir, - diferencias en el diámetro de partícula de la alimentación (T).

También se rechazó $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$, por lo que se concluye que existen diferencias entre los niveles B, o sea en las abertu-- ras de la criba. En la hipótesis anterior la significancia fue ba ja y en ésta es altamente significativa.

Para $H_0: \gamma_1 = \gamma_2$, existió diferencias entre los niveles C, lo que significa que existe diferencias en la velocidad de alimen tación, siendo altamente significativo ésto.

$H_0: \alpha\beta_{ij}=0$ se rechazó, lo que indica que hay interacción en tre el factor A y B, diferentes combinaciones de los dos factores producen efectos diferentes, la significancia fue baja.

$H_0: \alpha\gamma_{ik}=0$, por lo que se concluye que el factor A y C se - interactúan, es decir, diferentes combinaciones de los dos facto- res producen efectos diferentes; lo mismo sucede para $H_0: \alpha\beta\gamma_{ijk}=0$ que también se rechazó.

Finalmente $H_0: \beta\gamma_{jk}=0$, se rechazó, entonces las diferentes combinaciones de los dos factores B y C, producen efectos diferen tes, siendo ésto altamente significativo.

6.- Con respecto al diámetro de partícula de la alimentación F , y el diámetro de partícula del producto P , se vió que no existe ninguna relación entre F y P , para las variedades de maíz y de sorgo, aunque se tenían diferentes F , para el maíz y sorgo, el P obtenido fue independiente de cada variedad en estudio. Esto se debió principalmente a que cada variedad tiene su composición química, dureza, humedad, origen, procedencia y características en general diferentes.

7.- Para interpretar mejor los resultados anteriores, (el efecto de la abertura de la criba en el W_i), se varió a la abertura de la criba contra el diámetro de partícula del producto P , y abertura de la criba contra la potencia consumida P' ; ya que como se mostró en el punto 3 de resultados, todos los ANOVA su H_0 se rechazaron, por lo cual se graficó teniendo así una mejor visualización de los datos obtenidos. En la gráfica 2 y en la gráfica 3, se observó que todas las curvas tenían una cierta tendencia, pero existían cruces como la de A_5 , A_7 , A_8 ; se muestra en la siguiente tabla los valores de P y P' (ver tabla II).

De los resultados de ésto se pudo observar que para las condiciones:

B_1C_1 y B_1C_2 para P los valores no eran muy dispersos y eran los menores, lo mismo sucedió con P' .

B_2C_1 y B_2C_2 P tuvo valores semejantes que las condiciones anteriores, y se disparó solo un valor el de A_6 y para P' los valores se dispersan, son mayores que para las condiciones anteriores y el valor que se incrementa súbitamente es A_5 (ver gráfica 6).

B_3C_1 y B_3C_2 , P tuvo valores que entraban en un rango de (0.0018 a 0.0022 ft) y el valor que se dispara es A_3 (ver gráfica 6), y para P' los valores bajan en comparación a las condiciones inmediata anterior, y suben relativamente poco en relación a las condiciones primeras, el dato que se incrementa súbitamente es el de A_5 .

De todo lo anterior en donde se esperaba que entre menor es la abertura de la criba mayor iba a ser la potencia consumida, é-

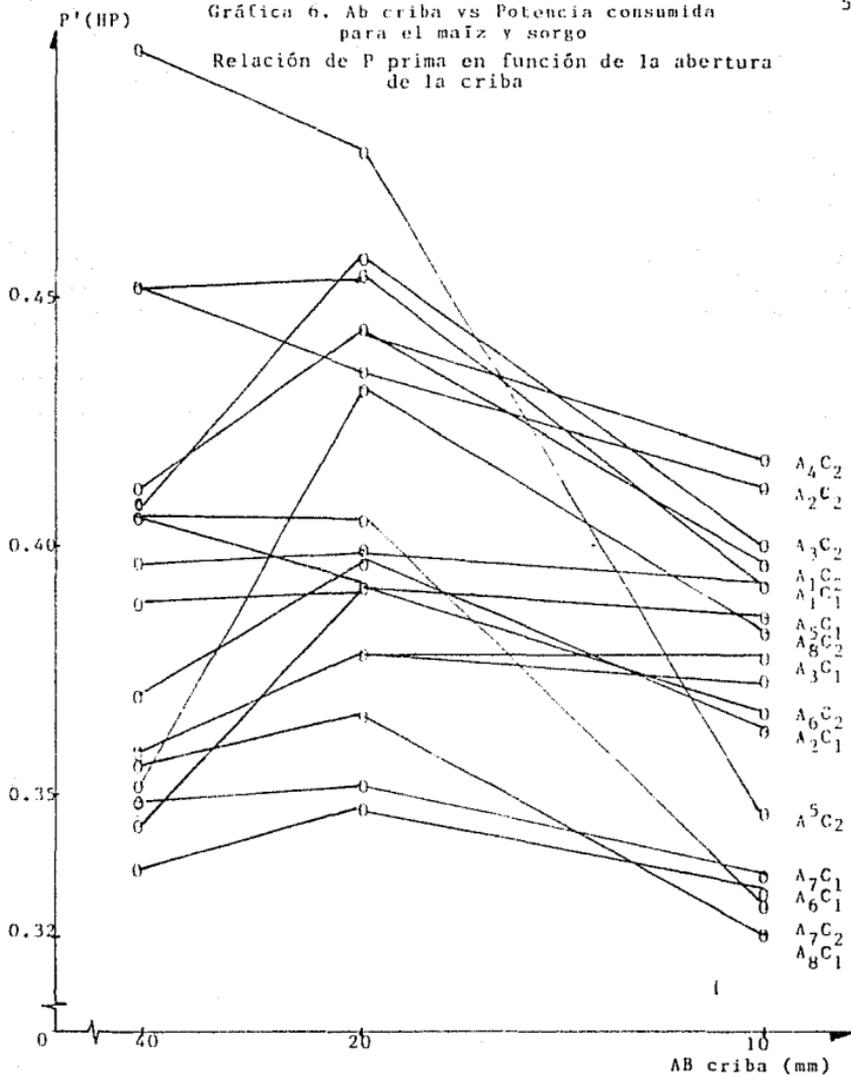
to no sucedió así, (ver gráfica 6); y con respecto a P' se esperaba que entre menor es la abertura de la criba, mayor es el diámetro de partícula del producto; esto relativamente se cumplió, ya que existieron algunos valores que se dispersaron (ver gráfica 7). Estas tendencias de las gráficas 6 y 7 originaron que hubiese diferencia significativa en todos los ANOVA realizados, en donde se vió la influencia de la abertura de la criba en el índice de trabajo, tema de estudio de la presente tesis; en el cual ya se analizó estadísticamente.

Tabla 12. Valores de P y P' promedio

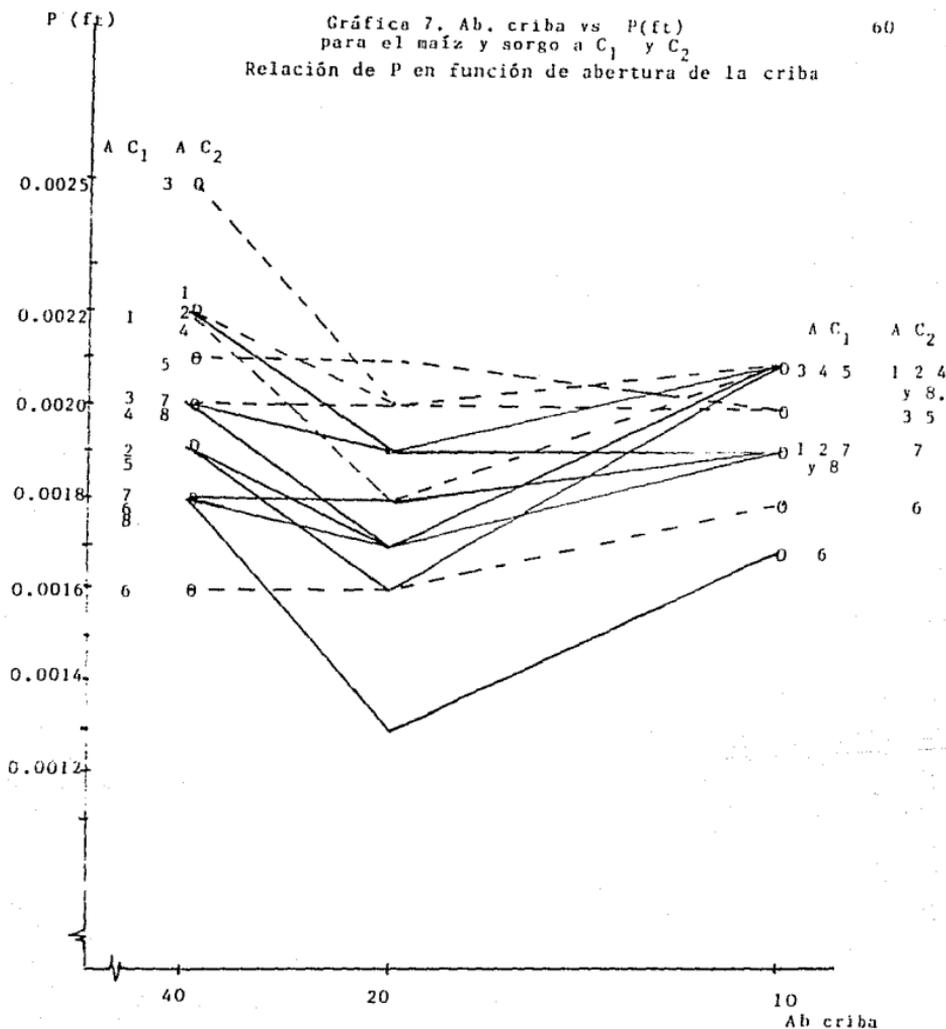
Exp.	P(ft)	P' (HP)	Exp	P(ft)	P' (HP).
1	0.0019	0.3932	25	0.0021	0.3861.
2	0.0021	0.3986	26	0.0020	0.3450.
3	0.0019	0.3989	27	0.0016	0.3925.
4	0.0018	0.4558	28	0.0021	0.4826.
5	0.0022	0.3968	29	0.0019	0.4075.
6	0.0022	0.4540	30	0.0021	0.5040.
7	0.0019	0.3619	31	0.0017	0.3298.
8	0.0021	0.4920	32	0.0018	0.3664.
9	0.0017	0.3984	33	0.0013	0.3458.
10	0.0020	0.4361	34	0.0016	0.3932.
11	0.0019	0.3700	35	0.0018	0.3340.
12	0.0022	0.4540	36	0.0016	0.3432.
13	0.0021	0.3780	37	0.0019	0.3324.
14	0.0020	0.4021	38	0.0019	0.3253.
15	0.0019	0.3775	39	0.0017	0.3499.
16	0.0020	0.4611	40	0.0017	0.4048.
17	0.0020	0.3575	41	0.0018	0.3512.
18	0.0025	0.4075	42	0.0020	0.4057.
19	0.0021	0.3727	43	0.0019	0.3190.
20	0.0021	0.4182	44	0.0021	0.3825.
21	0.0017	0.3914	45	0.0018	0.3646.
22	0.0019	0.4450	46	0.0020	0.4325.
23	0.0020	0.3887	47	0.0018	0.3555.
24	0.0022	0.4120	48	0.0020	0.3476.

Gráfica 6. Ab criba vs Potencia consumida
para el maíz y sorgo

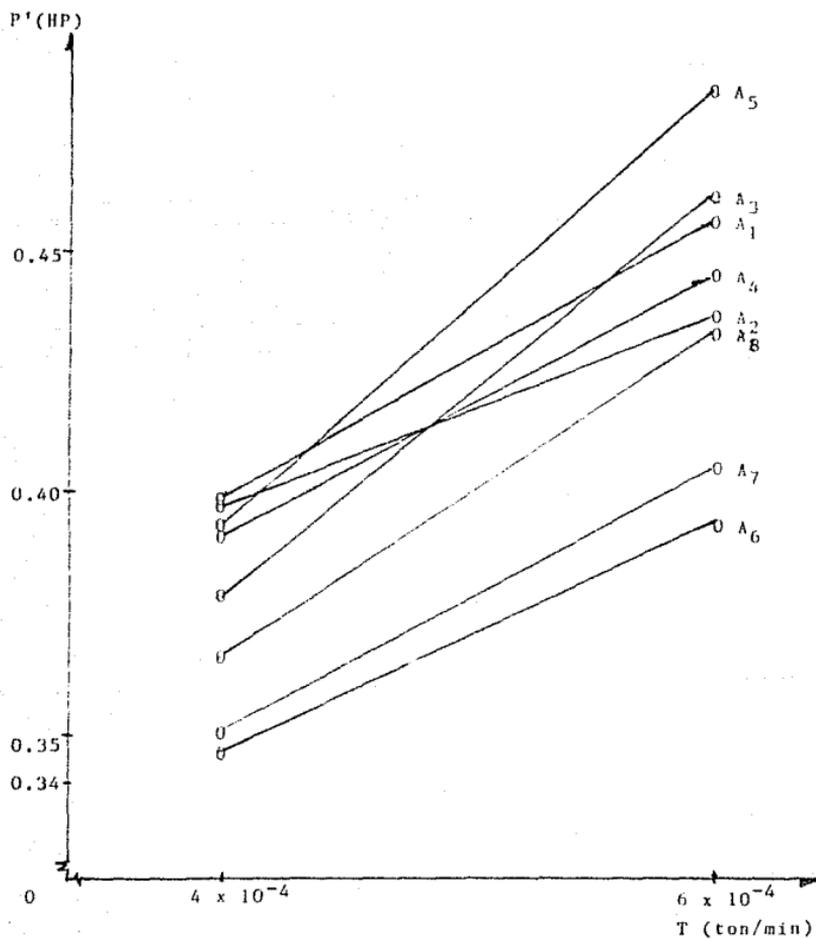
Relación de P prima en función de la abertura
de la criba



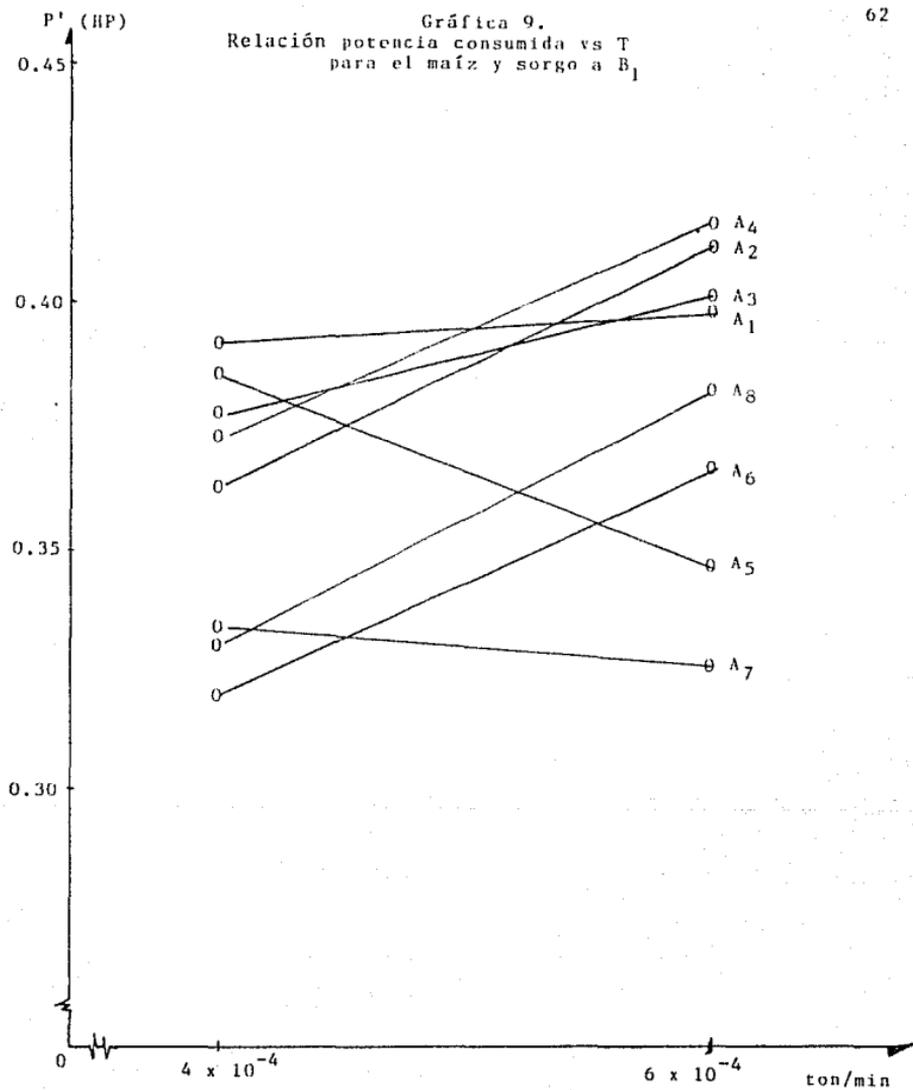
Gráfica 7. Ab. criba vs $P(\text{ft})$
 para el maíz y sorgo a C_1 y C_2
 Relación de P en función de abertura de la criba



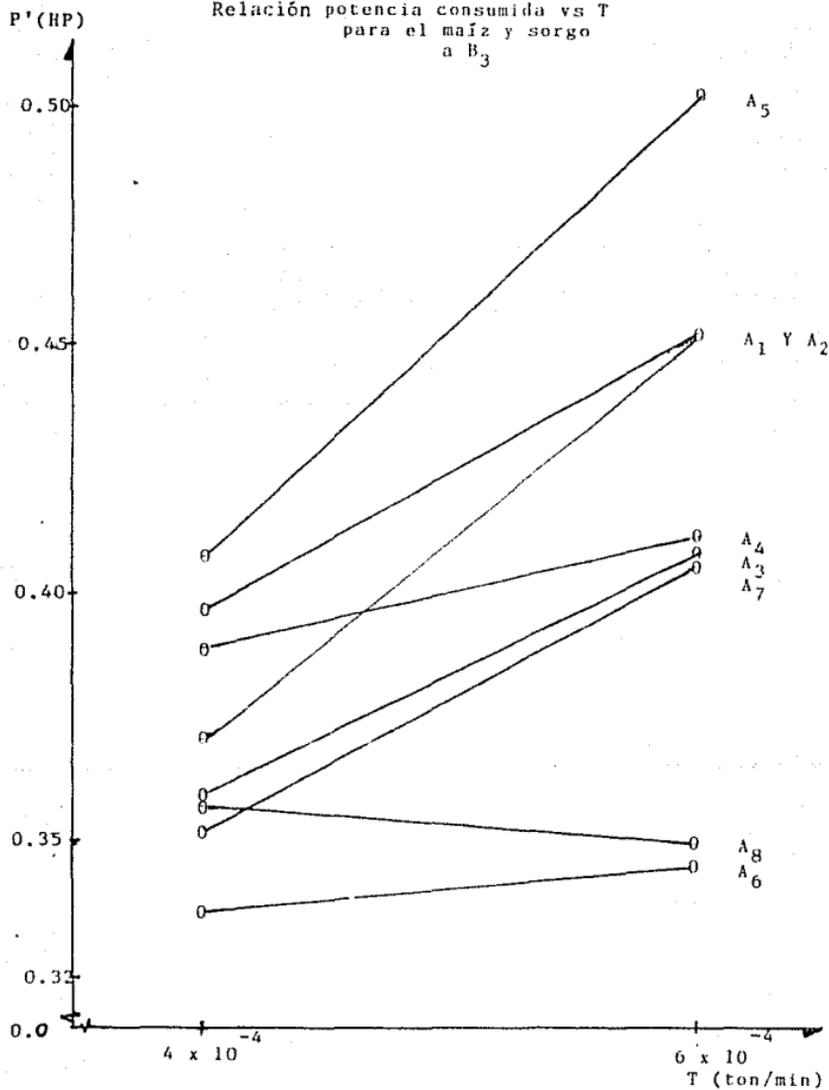
Gráfica 8.
Relación potencia consumida vs T
para el maíz y sorgo
a B₂



Gráfica 9.
Relación potencia consumida vs T
para el maíz y sorgo a B₁



Gráfica 10.
Relación potencia consumida vs T
para el maíz y sorgo
a B₃



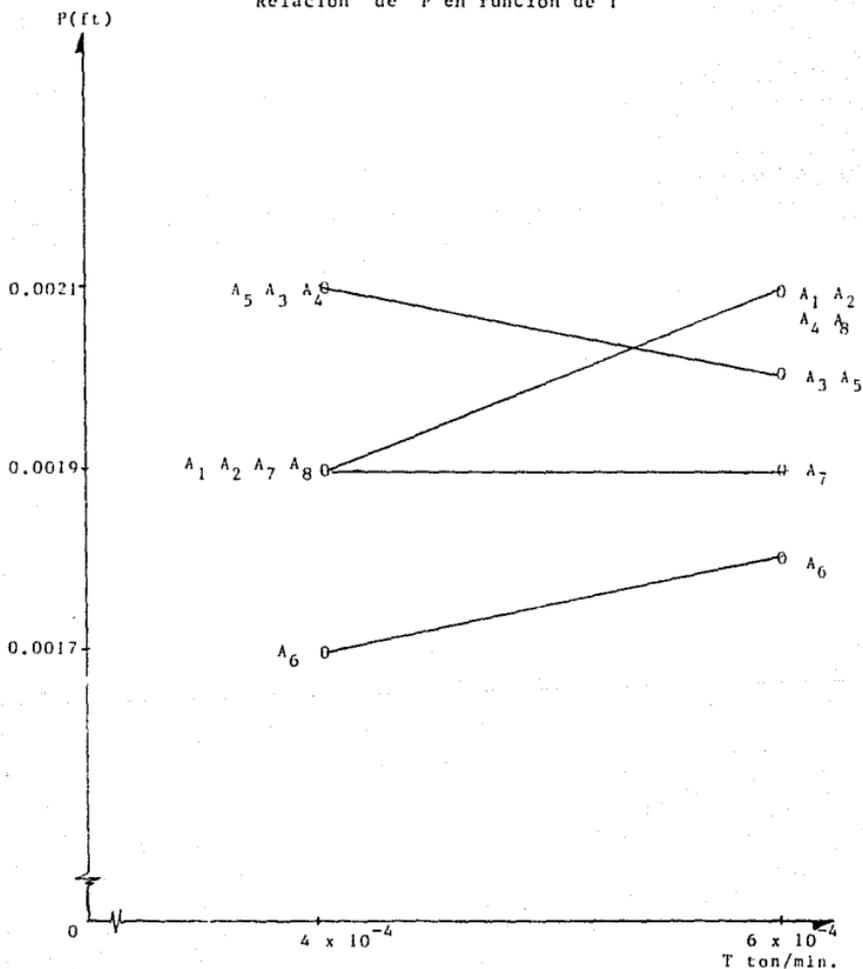
8.- Los resultados de éste punto, en donde se varió a la velocidad de alimentación (T) contra el diámetro del producto P y Velocidad de alimentación contra potencia consumida P', se obtuvo lo siguiente: (ver tabla 12).

Al variar a T contra P, se tuvo que entre mayor es la velocidad de alimentación, mayor es P (ver gráficas 8,9, y 10); y para todas las variedades bajo las condiciones de B_1 (criba 10), las curvas tuvieron cierta tendencia y viendo la tabla 9, la diferencia fue significativa excepto para A_5B_1 que mostró que su diferencia es no significativa y en la gráfica 8 se ve claramente que ésta curva va en sentido opuesto totalmente. Lo mismo sucede para las condiciones de A_5B_2 , A_3B_2 , A_8B_2 , A_7B_2 , A_6B_2 ; en donde la diferencia es no significativa y las curvas son semejantes, en cambio las otras son significativas y su tendencia es diferente; ésto también sucedió para las condiciones de A_3B_3 , A_2B_3 , A_5B_3 (ver gráfica 10). En todos los casos las curvas son paralelas, y las que no lo son se ve reflejado en los datos del ANOVA; ésto se ve claramente en las gráficas 9 y 10, al incrementar T se incrementa P.

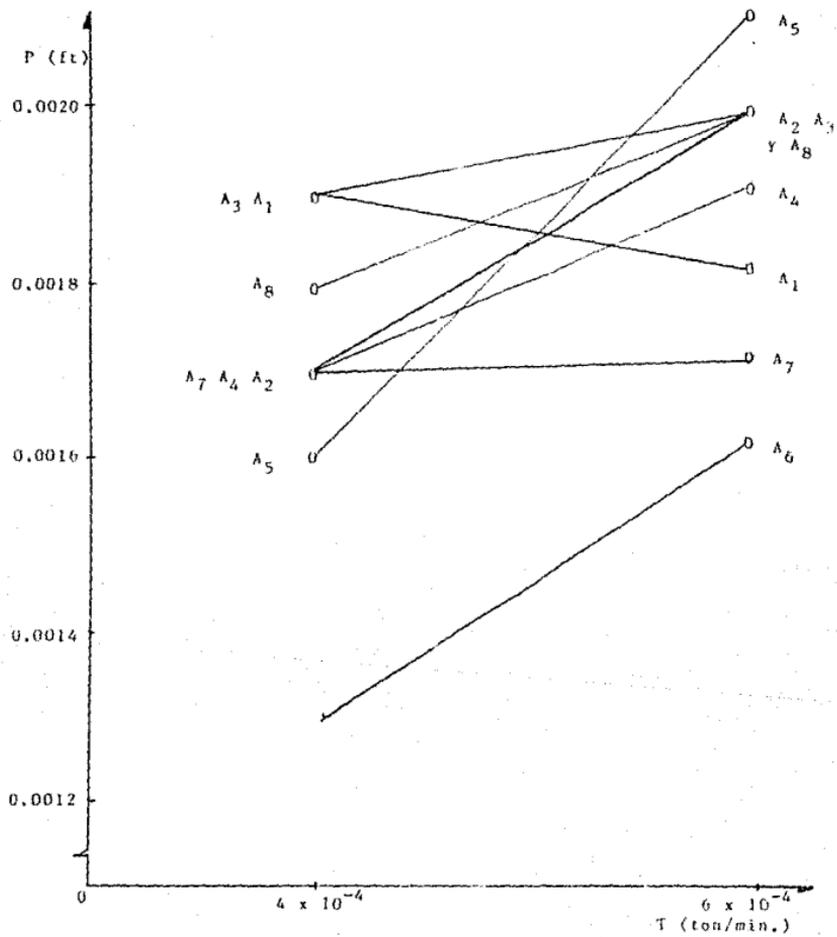
Y para T contra P' se tuvo que entre mayor es la T mayor es P' consumida. En relación con las condiciones A_5B_1 en la gráfica 11 ésta curva tiene un sentido opuesto a las otras, y su diferencia fue no significativa, en cambio para las otras sí lo fue. Las condiciones de A_3B_2 , A_2B_2 , A_5B_2 las curvas fueron paralelas (ver gráfica 12) y las que no se rechazó su H_0 ; y para las condiciones A_3B_3 , A_8B_3 , A_5B_3 , A_6B_3 fueron paralelas las curvas y al incrementarse T se incrementa P', pero para A_7B_3 la velocidad de alimentación se mantuvo constante, (ver gráfica 13).

Con todo lo anterior se demostró las razones principales por las cuales el índice de trabajo se vió afectado.

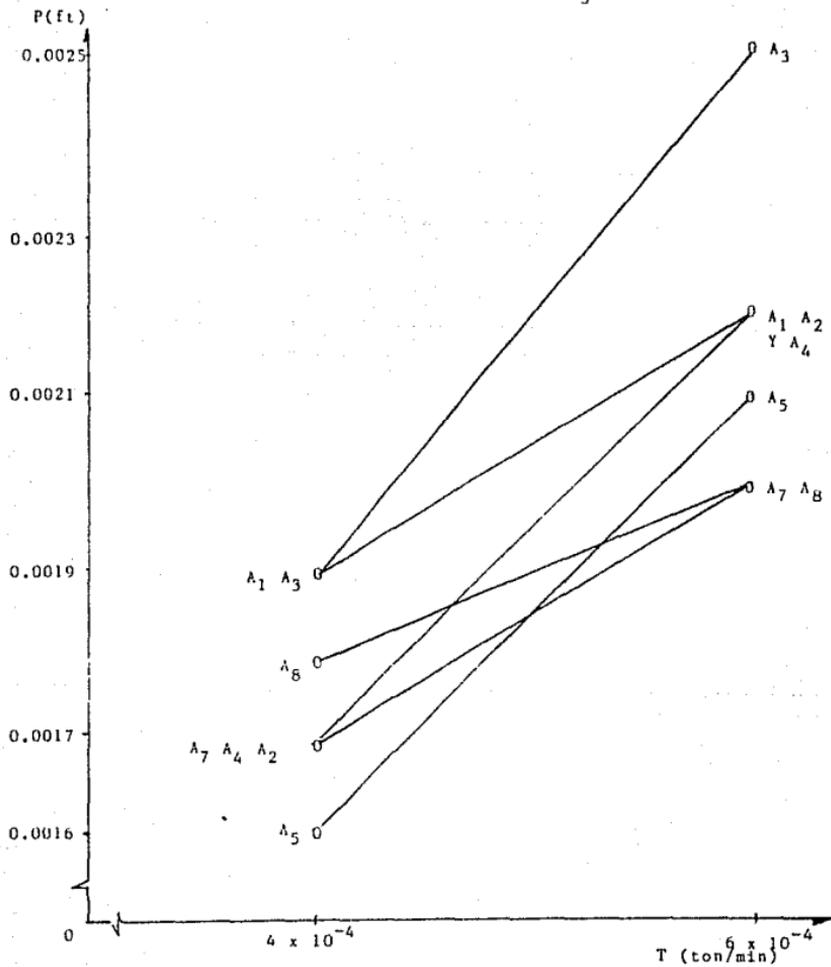
Gráfica 11.
 P vs T
 para el maíz y sorgo a B_1
 Relación de P en función de T



Gráfica 12. P vs T
 para el maíz y sorgo a B₂
 Relación de P en función de T



Gráfica 13. P vs T
para el maíz y sorgo a B₃



9.- Finalmente se determinó el índice de trabajo de las variedades de maíz y de sorgo respectivamente. Para ésto fue necesario - correlacionar a la potencia consumida P' (kwatts) y a la velocidad de alimentación T (ton/hr), de cada una de las variedades de estudio; en donde su pendiente fue el índice de trabajo kw-hr/ton, los datos obtenidos se reportan en la siguiente tabla.

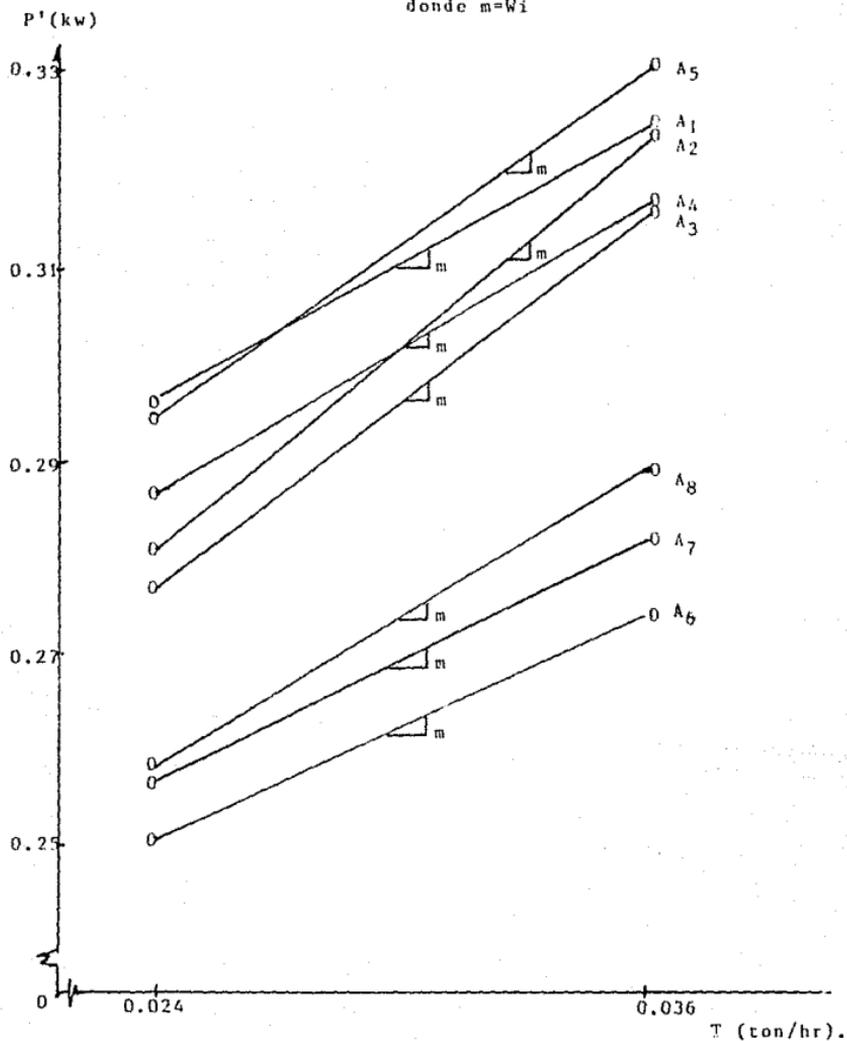
Tabla 13. Índice de Trabajo del Maíz y Sorgo (kw-hr/ton)	
H-220	3.5583
H-28	3.2667
VS-22	3.017
H-30	2.53
H-366	2.41
H-220	2.5583
S-E-D	2.1166
VA-110	1.925

De éstos datos se observa que el valor del índice de trabajo mayor lo tiene el maíz H-220 y el más bajo el H-366, y para el sorgo el H-220 el más alto y el valor más bajo el VA-110; para el caso del maíz se esperaba que el índice de trabajo lo tuviera el maíz H-366, ya que era el que tenía a F , P y P' valores mayores, y esto no fue así; en cambio para el sorgo sí lo fue. De lo anterior se observó que el índice de trabajo no sólo depende de F , P , P' , T , tipo de molino; sino también de otras variables o características como son las propias de cada variedad.

En la gráfica se muestra a P' vs T , para obtener el índice de trabajo (ver gráfica 14).

A éstos valores no se les aplicó el factor de corrección.

Gráfica 14. Determinación gráfica del INDICE DE TRABAJO del maíz y sorgo donde $m=Wi$



CONCLUSIONES

70

1.- No existe relación alguna entre F y P, debido a que cada variedad de maíz y sorgo tiene características propias (composición química, estructura, dureza, origen entre otras) diferentes.

2.- El punto número uno se puede afirmar al relacionar a F del -- maíz y sorgo con respecto al índice de trabajo, en el cual se vió que no existe una tendencia lineal o concordante, ya que cada variedad tuvo comportamientos diferentes, es decir el maíz y sorgo a diferentes condiciones se tuvo valores de índice de trabajo diferentes.

3.- Entre mayor es la abertura de la criba, mayor es su índice de trabajo obtenido.

4.- Para abertura de cribas menores, la potencia consumida durante la molienda es mayor.

5.- Entre menor sea la abertura de la criba mayor el diámetro de partícula del producto que se obtiene.

6.- Para velocidad de alimentación mayor, el índice de trabajo es menor. Esto para las diferentes condiciones en el maíz y sorgo.

7.- Entre mayor sea la velocidad de alimentación, mayor es la -- potencia consumida en la molienda.

8.- A mayor velocidad de alimentación, mayor es el diámetro del producto que se obtiene.

9.- El índice de trabajo es propio de cada variedad, por lo que -- no se puede establecer un valor general del W_i para el maíz y sor go.

10.- Se demostró que el índice de trabajo no solo depende de F , P , P' , T , sino también de otros factores como son: las características propias del grano.

R E C O M E N D A C I O N E S

1.- Para poder determinar el índice de trabajo de cualquier alimento, es necesario experimentar para obtenerlo. No es conveniente hacer extrapolaciones para determinar el W_i , ya que entre un mismo producto por ejemplo el maíz, los valores del índice de trabajo fluctúan para cada variedad.

2.- Con el índice de trabajo se puede diseñar cualquier equipo - destinado, a la reducción de tamaño, para algún alimento determinado.

3.- En la experimentación si se desea obtener productos de diámetro de partícula homogéneo, se recomienda usar las cribas con -- abertura mayor.

4.- Asimismo, se recomienda diseñar un medidor de flujo (dosificador) de acuerdo al material a utilizar, tratando que la alimentación caiga libremente sin que se dañe el producto y principalmente controlando la velocidad de alimentación.

5.- Para poder determinar el índice de trabajo de cualquier sustancia, se recomienda experimentar en varios equipos de trituración y molienda.

- 1.- ARIAS VELAZQUEZ C.: Análisis de Granos; Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Industria Agrícola. 1981.
2. BADGER W.L. y BANCHERO J.T.: Introducción a la Ingeniería --- Química. Editorial Mc Graw Hill, Inc. 1980.
3. BOND F.C. and WANG J.T. Trans A.I.M.E., 187;871 (1950).
4. BOND F.C.: Trans A.I.M.E., 193;484 (1952).
5. BOND F.C.: Chemical Engineering. 169 (1952).
6. BOWKER A.H. y LIEBERMAN G.J.: Estadística para Ingenieros; Ed. P.H.H., 1981.
7. BRENNAN B.: Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Ed. Acribia Zaragoza España, 1970.
8. BROWN G.G. et al: Operaciones Básicas de la Ingeniería Química ED. Morin España Barcelona. 1957.
9. COULSON J.M. y RICHARDSON J.F.: Operaciones de Ingeniería Química. Tomo II, Vol 1, Ed. REVERTE España. 1981.
10. EARLE R.L.: Las operaciones Básicas Aplicadas a la Tecnología de los alimentos. Ingeniería de Alimentos., Ed. Pergamon Press Inc. (traducción por José Alemán Vega). 1966.
11. FOUST A.S.: Principio de Operaciones Unitarias. Ed Continental México, 1971.
12. GEANKOPLIS C.J.: Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias Ed. CECSA. 1982.
13. KENT N.L.: Tecnología de los Cereales. Traducido por Mariano González Alonso. Ed. Acribia Zaragoza España. 1987.
14. LONCILL M.: Les operations unitaries du genre chimique.
15. PERRY R.H. y CHILTON C.H.: Manual del Ingeniero Químico; Ed. Mc Graw Hill, 1973.
16. RICKMERS A.D. y TOOD HOLLIS N.: Introducción a la Estadística. Ed. CECSA. 1971.
17. SARH. Anuario Estadístico de la Producción Nacional de Maíz - Agrícola. México. 1985.
18. SARH. Guía para la asistencia técnica agrícola del Valle de - México. INIA del Centro de Investigaciones Agrícola Experimen

- tal del Valle de México, Dic. 1981.
19. SARH. Variedades Autorizadas de los Principales Cultivos con las indicaciones para las épocas de Siembra y Cosecha. DGA. Comité Calificador de Variedades de Plantas. Ciclo Primavera - Verano, 1982.
 20. SARH. Variedades Autorizadas de los principales cultivos con las indicaciones para las épocas de Siembra y Cosecha. D.G.A. México. Comité Calificador de Variedades de Plantas, ciclo - Otoño- Invierno, 1982-1983.
 21. SECOFI. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. D.G.S. Productos alimenticios no industrializados para uso humano, Cereal Sorgo (Sorghum vulgare); Especificaciones. NOM-FF-37 1982.
 22. SECOFI. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. D.G.S. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Cereal. Maíz (zea mays); Especificaciones NOM-FF 34, 1982.
 23. JULIUS THOMAS: Introducción a la Ingeniería Química. Ed. Mc Graw Hill, México, 1980.
 24. WELHAUSEN E.J. y ROBERTS L.M.: Razas de maíz en México; Programa Agricultura Cooperativa de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D.F. y Fundación Rockefeller.
 25. WALL J.S. y WILLIAM M. ROSS.: Producción y usos del sorgo. Ed. Hemisferio Sur, 1975.
 26. WAYNE D.W.: Bioestadística. Ed. Limusa S.A. tercera reimpresión, México, 1984.