

81-A  
30/1



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"PELETIZADO Y BRIQUETEADO" DE RESIDUOS  
VEGETALES COMO FUENTE BASICA DE ENERGIA  
PARA LA INDUSTRIA,**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A N**

**ARMENTA MARTINEZ RODRIGO  
GONZALEZ SUVERZA ANTONIO  
OROPEZA ORTIZ JOSE GABRIEL  
ZAMORA OCHOA ROBERTO JULIAN**

**Dir. Ing. Manuel Enriquez Poy**

**México, D. F.**

**1986**





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.

## P R O L O G O

Siendo la Energética la ciencia que trata sobre la mejor forma de utilización del calor en los procesos industriales, es menester que cualquier cambio, adaptación y/o innovación tenga esto en cuenta, pues de lo contrario se correría el riesgo de sobrecargar la demanda de energía, repercutiendo en absurdas paradojas e ineficiencia.

Proponer una modificación de los esquemas termoenergéticos en un ingenio azucarero, conlleva un riesgo: mal interpretar el nivel tecnológico de sus equipos, puesto que sus condiciones actuales son en la mayoría de los casos para trabajar con muy bajas presiones: razón por la cual, primero que nada, habrá que ajustar los arreglos, sobre todo de evaporación y tachos, para después poder dar el salto de eficiencia termodinámica, al proponer presiones de generación mayores.

Dicho lo anterior, es imprescindible hoy más que nunca reflexionar acerca del tan necesario apoyo de ingeniería hacia una industria que se ha caracterizado por su gran dependencia de combustibles suplementarios, no renovables en su mayoría, por lo que se planteó el estudio que aquí se presenta, como una contribución mínima que sirva para despejar mil y una incógnitas sobre el campo fértil que tiene la Energética en sus fábricas.

Si se cuenta con instalaciones y equipo suficientes, amén de facilidades de investigación e innovación tecnológica, sólo resta la pregunta: ¿No somos capaces los mexicanos para desarrollar alternativas distintas a las convencionales?.

Firmemente convencidos de que este seminario brinda la respuesta,  
fincamos nuestra profunda esperanza para el país:

"Su juventud universitaria"

Ing. Manuel Enríquez Poy.

Director del Seminario.

Agosto de 1985.

PELETIZADO DE RESIDUOS VEGETALES COMO FUENTE BASICA DE ENERGIA PARA  
LA DINDUSTRIA.

I N D I C E

CAPITULO I. ANALISIS DE RESIDUOS VEGETALES SUSCEPTIBLES DE UTILIZACION

1.-	RESIDUOS VEGETALES.....	5
1.1.-	PROBLEMAS QUE OCASIONAN LOS RESIDUOS.....	5
1.1.1.-	CONTAMINACION.....	5
1.1.2.-	DISMINUCION DE EFICIENCIA DE PRODUCCION.....	6
1.2.-	ALTERNATIVAS DE REUTILIZACION.....	6
1.2.1.-	GENERACION DE ENERGIA.....	7
1.2.2.-	FORRAJES.....	7
1.2.3.-	ABONOS AGRICOLAS.....	7
1.2.4.-	SUMINISTRO PARA LA INDUSTRIA QUIMICA.....	8
1.3.-	LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGETICO.....	8
1.3.1.-	GENERALIDADES.....	8
1.3.2.-	PRODUCTOS DE LA BIOMASA.....	9
1.3.3.-	PROCESOS BIOMASICOS.....	10
1.3.3.1.-	PROCESOS FISICOS.....	10
1.3.3.2.-	PROCESOS BIOLOGICOS.....	10
1.3.3.3.-	PRODUCCION DE ETANOL.....	11
1.4.-	MATERIALES SUSCEPTIBLES DE UTILIZACION.....	14
1.4.1.-	BAGAZO DE CAÑA.....	14
1.4.2.-	CARBON MINERAL.....	16
1.4.3.-	MADERA.....	17
1.5.-	ALTERNATIVAS PARA MANEJAR LOS RESIDUOS VEGETALES.....	17
1.5.1.-	MATERIAL A GRANEL.....	17
1.5.2.-	MATERIAL EN CUBOS O PACAS.....	18
1.5.3.-	MATERIAL PELETIZADO.....	18

## CAPITULO II. ESTUDIO DEL PROCESO DE PELETIZADO

2.1.-	DEFINICION.....	21
2.2.-	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	23
2.3.-	PROCESO DE PELETIZADO.....	25
2.3.1.-	MATERIA PRIMA.....	26
2.3.2.-	SECADO.....	26
2.3.3.-	ACONDICIONAMIENTO.....	28
2.3.4.-	ENTRADA Y DISTRIBUCION.....	30
2.3.5.-	PRENSADO Y EXTRUSION.....	32
2.3.6.-	ENFRIADO.....	37
2.3.7.-	ALMACENAJE.....	38
2.4.-	CRITERIOS DE SELECCION DE UNA PELETIZADORA.....	38
2.4.1.-	EVALUACION INICIAL.....	40
2.4.2.-	ANALISIS DE COSTOS.....	40
2.4.3.-	EQUIPO AUXILIAR.....	41

## CAPITULO III. ENSAYOS SOBRE PELLETS COMBUSTIBLES

3.1.-	OBTENCION DE PELLETS DE MUESTREO.....	43
3.2.-	ALTERNATIVAS DE SUBSTITUCION "VINASA POR MELAZA".....	45
3.2.1.-	PRUEBAS DE LABORATORIO.....	45
3.3.-	FORMULACIONES DIVERSAS.....	48
3.3.1.-	PRUEBAS DE CAMPO.....	52
3.4.-	PRUEBAS MECANICAS.....	52
3.5.-	PRUEBAS DE QUEMADO.....	53
3.6.-	CONCLUSIONES.....	54

CAPITULO IV. REPERCUSIONES DEL NUEVO COMBUSTIBLE EN EL COMPORTAMIENTO  
TERMODINAMICO DEL CICLO Y/O PROBLEMAS PARA SU IMPLEMEN-  
TACION INDUSTRIAL.

4.1.-	COMPARACION ENTRE EL BAGAZO HUMEDO Y BAGAZO SECO.....	56
4.2.-	IMPORTANCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DENTRO DEL BAGAZO..	56
4.3.-	EFFECTOS DEL NUEVO COMBUSTIBLE.....	58
4.4.-	CONDICIONES NECESARIAS EN UN INGENIO AZUCARERO.....	58
4.5.-	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INSTALACION DE UNA PLANTA PELETIZADORA.....	59
4.6.-	DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA CONVENCIONAL Y UNA DE PELETIZADO.....	60

CAPITULO V. INTEGRACION DE UN PROYECTO PILOTO Y ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA DESDE EL INGENIO A LA RED NACIONAL (C.F.E.)

5.1.-	INTRODUCCION.....	64
5.2.-	DESCRIPCION DE LA PELETIZADORA CON QUE SE CONTARIA.....	65
5.3.-	EQUIPO ACTUALMENTE INSTALADO EN EL INGENIO.....	71
5.4.-	RITMOS DE PRODUCCION.....	72
5.5.-	PRODUCCION ESTIMADA EN PELLETS COMBUSTIBLES.....	74
5.6.-	PRODUCCION ESTIMADA DE ENERGIA.....	77
5.7.-	ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA A LA RED NACIONAL (C.F.E.).....	81
	CONCLUSIONES.....	83
	BIBLIOGRAFIA.....	86

# C A P I T U L O I . ANALISIS DE RESIDUOS VEGETALES SUSCEPTIBLES DE UTILIZACION.

## 1. RESIDUOS VEGETALES

Se define como residuo vegetal a la parte que no se aprovecha en los procesos agrícolas o industriales que tienen como materia prima productos vegetales, considerando también aquéllos que a pesar de no haber sido producto de algún proceso no han sido aprovechados en forma óptima.

Dentro de algunos residuos vegetales se encuentran los bagazos que son residuos de las frutas, tallos y raíces que se exprimen. Tenemos además a los pastos y a las plantas de las gramíneas; desechos agrícolas como el olote del maíz, hierbas, arbustos, hojas, etc.; también podemos hablar de los residuos forestales como la corteza del árbol, ramas y la madera que no se puede industrializar, incluyendo los desechos de la industria como la pedacería y los aserrines.

### 1.1 Problemas que ocasionan los residuos.

#### 1.1.1 Contaminación

Uno de los grandes problemas que ocasionan los residuos vegetales es la contaminación, ya que si son descargados directamente al medio ambiente se alterará la ecología de los sistemas naturales; y, por otra parte, en los tiraderos de cielo abierto, éstos se ven afectados frecuentemente por el fuego, debido al calor que se desprende de las reacciones químicas que aparecen durante su descomposición biológica, con la inherente formación de gases tóxicos; estos incendios, aunados al desprendimiento de gases y la emisión de olores característicos de los grandes

conglomerados de desechos, son una de las principales fuentes de contaminación; originándose un foco infeccioso que se esparce junto con partículas sólidas debido al viento.

La contaminación de desechos es una de las razones que nos obligan, si no a erradicarla completamente, entonces a buscar una utilización benéfica para estos residuos.

Esta solución puede ser el utilizar los residuos como un producto biomásico por medio del cual podamos obtener energía eléctrica o gas combustible.

#### 1.1.2 Disminución en la eficiencia de producción

En los procesos industriales donde se tienen productos vegetales, es evidente que se trabaja sin aprovechar el 100 % de la materia prima, ya que es imposible aislar por completo la parte útil de ésta, o por que de antemano existen partes de la materia prima que no se han de utilizar, como pueden ser: cáscaras, semillas, etc., según el proceso de que se trate. Todo esto , aunado al manejo de residuos, una vez obtenidos, e incluyendo también los gastos de almacenaje, involucran un costo que se refleja en la eficiencia del proceso, haciéndolo económicamente menos rentable.

#### 1.2 Alternativas de reutilización.

Con el fin de eliminar los problemas que presentan los residuos vegetales, se han planteado algunas formas de aprovecharlos; dentro de las más comunes se tienen: en la generación de energía, la obtención de forraje, abonos agrícolas, etc. y otros nuevos usos dentro del campo de la industria química, y la industria papelera.

### 1.2.1 Generación de energía

Para la generación de energía como alternativa de utilización de los residuos vegetales, tenemos que éstos pueden ser usados directamente como combustible, al quemarse como el bagazo de caña y la madera; o bien transformándolos mediante un proceso físico o biológico para obtener gases, alcoholes o carbón, etc.

### 1.2.2 Forrajes

Otra forma de utilización de los residuos vegetales, es en la aplicación de forrajes para la industria ganadera.

En los campos agrícolas de producción media y extensiva de cereales leguminosas, algodón, etc. en el momento de cosecharlos se generan grandes volúmenes de pajas y rastrojo que son la fuente más elevada de la producción forrajera.

Otra actividad que deja bastantes residuos forrajeros es la agroindustrial, de la cual se extraen harinas y aceites, quedando como subproductos cascarillas y pastas con un alto valor nutricional que se utiliza totalmente en la elaboración de alimentos balanceados para animales en general.

### 1.2.3 Abonos agrícolas

Otra de las formas tradicionales de aprovechamiento de los residuos vegetales es incorporarlos directamente a los campos agrícolas como abono.

En todos los terrenos agrícolas, en los levantamientos o cosecha de granos quedan residuos, como son los tallos y hojas que con la ayuda de los agentes ambientales, como son el agua y el sol, se incorporan

al terreno como materia orgánica que servirá de nutriente para el siguiente cultivo.

Actualmente los residuos vegetales no tienen ya un uso generalizado como abono agrícola, al estar siendo sustituidos por fertilizantes químicos.

#### 1.2.4 Suministro para la industria química

Algunos residuos vegetales pueden ser utilizados para la obtención de productos farmacéuticos, así como, también, para la obtención de barnices, pinturas, etc. Dentro de la industria papelera se utilizan los residuos vegetales con alto contenido de celulosa.

### 1.3 La biomasa como recurso energético.

#### 1.3.1 Generalidades

Antes de entrar en este punto, hay que tomar en cuenta las posibilidades que ofrece el uso de fuentes de energía que sean en lo posible renovables e inagotables.

En un país como el nuestro, cada vez tiene más importancia el uso de la biomasa renovable en la satisfacción de necesidades energéticas, (Leña y residuos vegetales - por ejemplo ) usados inclusive en algunos procesos industriales. Cabe hacer notar que con el incremento de la población y el desarrollo económico que traerá consigo una elevación en las aspiraciones en el nivel de vida, harán que aumenten las necesidades de energía. Por otra parte, un problema muy grave se va a presentar cuando las fuentes de energía no renovables se agoten. También convendría pensar en otra situación que tiende a agravarse a consecuencia del uso excesivo de combustibles fósiles, los cuales sobrecargan peligrosamente de CO<sub>2</sub> y CO a la atmósfera.

No solamente se buscaría emplear a la biomasa como solución de las situaciones antes mencionadas; también en la medida de lo posible, se debe tratar de llenar el hueco que los combustibles fósiles empezarán a dejar por la tendencia que tienen a desaparecer, con su consiguiente aumento de precio.

No obstante, los biocombustibles también representan un reto en cuanto al impacto que podrían tener en la ecología, hablándose claro, de un uso generalizado de éstos.

### 1.3.2 Productos de la biomasa

Dentro de las nuevas fuentes de energía, a las que se les ha llamado no convencionales, ha quedado incluida la biomasa. Pero vemos que en la realidad podría considerársele convencional, y más aún, por lo que entendemos por biomasa, ya que incluye a toda la materia orgánica que se encuentra en la naturaleza, la cual puede proporcionarnos energía; éstos productos pueden ser árboles, arbustos, desechos agrícolas, animales, estiércol, algas marinas, etc.

Con la biomasa pueden producirse combustibles sólidos, gaseosos y líquidos, de tal manera que se pueda producir vapor y éste a su vez produzca energía eléctrica. Todo esto se pueda hacer recurriendo a residuos orgánicos o vegetales, los cuales proporcionan energía a un gasificador. Al hablar de productos de la biomasa, podemos encontrar algunos tan comunes y a la vez importantes como la madera, que es un recurso energético renovable utilizado no solamente como leña, pellets, material comprimido o aserrín, sino también, mediante procesos químicos, podemos obtener combustibles líquidos.

También se pueden citar medios no convencionales para obtener biomasa, como la salmuera de los campos petroleros y del mar, ya que contiene la composición química adecuada para promover el crecimiento de algunos organismos que posteriormente serán biomasa.

Debe hacerse una evaluación que nos permita analizar de qué manera se debe manejar la biomasa, aunque algunos productos biomásicos no presentan alternativas para obtener energía de ellos como las aguas negras y el estiércol, los cuales producen gas combustible mediante procesos anaeróbicos.

### 1.3.3 Procesos biomásicos.

#### 1.3.3.1 Procesos físicos

Algunas veces para implementar combustibles a partir de biomasa en forma más eficiente, se recurre a procesos físicos entre los que encontramos: gasificación, que se realiza por medio de transformación de materias orgánicas dando como resultado gases que son mezcla de hidrocarburos de tipo convencional; tenemos a la pirólisis como un proceso de este género, en el que la materia orgánica es sometida a descomposición química mediante altas temperaturas y en algunos casos con aditivos químicos, obteniéndose productos como los alcoholes o el carbón de madera.

#### 1.3.3.2 Procesos biológicos

Podemos tener también procesos biológicos donde, por ejemplo, se recurre a animales muertos los cuales, por medio de la fermentación anaeróbica, que se da dentro de un recipiente cerrado, se origina que los microorganismos empiecen a descomponer la materia, generándose un

nuevo gas, de tipo metano, similar al gas natural. Este nuevo gas está compuesto de 60 % de metano y 40 % de bióxido de carbono, este último no tiene ningún uso energético.

Por lo que respecta a los residuos vegetales y desechos agrícolas, éstos tienen todavía poder calorífico por lo que en su estado normal son combustibles, sin embargo, podemos procesarlos para obtener mejores características de estos productos o bien tener otros combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Es muy importante, como ya dijimos, evaluar lo que nos puede dejar un producto biomásico sin procesarse, en energía o en dinero y comparar con estos parámetros al mismo producto tomando en cuenta la inversión inicial que requiere hacerse. En caso de contar con más de una alternativa se hace necesaria una evaluación económica más minuciosa.

A fin de cuentas, podemos concluir casos positivos acerca de la biomasa; podemos estar conscientes de que existen muchos elementos y procesos de bioconversión de ésta, que se puede contar con este tipo de energía a corto y a largo plazo; que existen perspectivas de utilización económica y ecológicamente aceptables de su uso y de que se trata de un recurso renovable, pero depende éste último, de su uso racional para que se regenere.

#### 1.3.3.3 Producción de etanol

Para la generación de energía como alternativa de utilización de los residuos vegetales, el etanol tiene la ventaja de poder ser obtenido de productos como el maíz, trigo, caña de azúcar, papas, cazabe, remolacha, alcachofas y otros subproductos agrícolas y desechos. A esta gran

variedad de materia prima del sector agrícola se suma la del sector forestal, y en general cualquier materia vegetal.

La producción de etanol fermentado se basa en una tecnología bien establecida, que existe desde hace siglos. Cuando empezaba la industria automotriz, se usó el etanol como combustible, después fue reemplazado por la gasolina, al ser ésta más barata. Sin embargo, hoy en día las cosas empiezan a estar otra vez a favor del etanol derivado de fuentes agrícolas renovables.

Básicamente, la producción de etanol es un proceso en el cual los azúcares y otros glúcidos como el almidón, son convertidos a etanol y dióxido de carbono por microorganismos.

Los pasos básicos en la preparación de material biomásico para la producción de etanol son:

- 1.- Extraer los azúcares de los vegetales.
- 2.- Las levaduras y celulosas deben ser transformadas de su forma más compleja a glucosas.
- 3.- Las piedras y partículas metálicas deben ser extraídas.

En la figura 1.1 se muestra un diagrama de flujo de la producción de etanol.

- Beneficios

- 1.- La producción de etanol en el campo, da a la comunidad campesina una opción diferente para satisfacer sus necesidades propias de energéticos.
- 2.- Se puede valorar al producto por sus usos y aplicaciones en la industria farmacéutica, en la cosmética o para la

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCION DE ETANOL

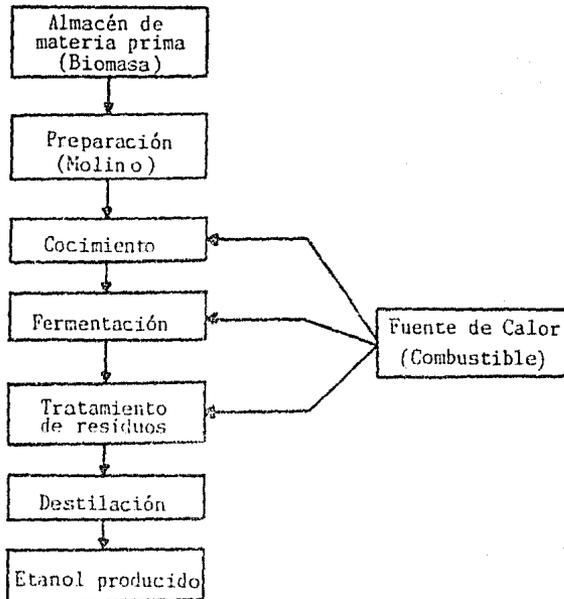


Figura 1.1

obtención de éter y productos sintéticos, como seda artificial y hule sintético.

- Subproductos

- 1.- Los subproductos ricos en proteínas, pueden ser alimento para ganado como reemplazo de otras fuentes proteínicas.
- 2.- Los suprodutos celulósicos, suficientemente secos, pueden ser quemados como combustible.

- Usos

Después del auge petrolero de los años setenta, nos enfrentamos a serios cuestionamientos sobre las reservas reales, así como su futura explotación, por lo que, esta fuente alterna de energía toma cada vez mayor valor real.

El etanol puede sustituir al petróleo en algunos combustibles y productos químicos derivados de éste.

1.4 Materiales susceptibles de utilización.

1.4.1 Bagazo de caña

Como este estudio se enfocará principalmente al bagazo de caña, se darán a continuación, en una forma detallada, las características de dicha materia.

- Composición física

El bagazo es de una textura fibrosa, resultado de la extracción del jugo de la caña. Es similar, en su análisis, a la madera. Tiene un alto contenido de humedad que depende de la eficiencia de los molinos. Los índices de humedad son

del orden de 45 a 55 %.

El bagazo, por ser un residuo fibroso, tiene un alto contenido de cenizas, así como material insoluble (como celulosa) sustancias en solución en agua consistente en azúcar e impurezas en cantidades pequeñas (2 al 5%).

#### - Composición química

Dentro de la composición química, el bagazo contiene: celulosa 50 %, pentosas 28 %, lignina 18 %, cenizas 4 %.

La celulosa es en su totalidad un tejido vegetal, está mezclada con las pentosas, lignina, gomas, colorantes, etc., raras veces se encuentra en estado puro.

Las pentosas son un forma hemicelulosa, que al hidrolizarlas, se convierten en xilana, ácido urónico y rabinosa.

La lignina es el nombre dado al grupo de las sustancias de peso molecular alto, asociado a la celulosa y a la hemicelulosa.

El bagazo obtenido en un molino de azúcar y de un 2.5 a un 3 % de azúcares, aunque en algunos ingenios llega a rebasar el 4 %.

#### - Poder calorífico

El valor calorífico del bagazo se calcula por diversas fórmulas. Dentro de las más importantes están las de "Von de Hurst" y las de "Hessey", tal y como se verá en el capítulo

posterior.

#### 1.4.2 Carbón mineral

El carbón mineral es una sustancia combustible compuesta, fundamentalmente, de carbono y de pequeñas cantidades de hidrógeno, azufre y cenizas en estado sólido y con aspecto bituminoso de color oscuro o casi negro, que tiene su origen en vegetales fosilizados.

Dentro del carbón se encuentran los siguientes derivados:

La turba: Es una materia vegetal parcialmente carbonizada, presenta la primera fase de fosilización de los carbones. Su poder calorífico es de 3,000 a 6,000 Kcal/Kg, su composición media es carbono 53 a 58%, oxígeno 28 a 35 % e hidrógeno 5.8 %. Este derivado se utiliza como combustible industrial, aunque su alto contenido de humedad (40 a 70 %) limita mucho su uso; también se utiliza como antiputrefactor y termoaislante.

Lignito: Es un combustible fósil con un proceso de formación más avanzado que la turba, pero aún puede advertirse su estructura de origen vegetal. Su humedad es de 25 a 40 % que pierde fácilmente exponiéndose al aire. El contenido de carbono es del orden del 35 al 40 % y su poder calorífico de unas 4,000 a 6,000 Kcal/Kg. Materias volátiles de 20 a 30%.

La hulla: De esta clase existen muchas variedades según el porcentaje de carbono que oscila entre el 70 y el 85 % y el contenido de materias volátiles está entre el 8 y el 35 %, su poder calorífico varía de 7,000 a 8,000 Kcal/Kg.

La antracita: Tiene un alto contenido de carbono, de 85 a 95 %

que hace que su poder calorífico alcance de 8,000 a 9,000 Kcal/Kg. Las materias volátiles son escasas, de 1.2 a 8 % y la humedad de 3 a 4 %.

### 1.4.3 Madera

El valor calorífico de la madera, está en función de la humedad que contenga. La leña muy seca contiene 20 % de agua, la leña seca el 30 % y la leña verde del 40 al 50 %, el valor calorífico bajo de la leña verde es de 3,225 Kcal/Kg, el valor calorífico neto es de 2,800 Kcal/Kg; mientras que para la leña seca el valor calorífico es de 3,600 Kcal/Kg.

Otros materiales susceptibles de utilización como producto biomásico serían todos los tipos de cosechas agrícolas y productos del mar. De este último podemos mencionar a la salmuera y a las algas marinas. Entre las cosechas agrícolas, se encuentran la cebada y el maíz; cosechas de frutas; cosechas para obtención de azúcar como la caña, remolacha, sorgo dulce, etc. Sin embargo, existen productos que tienen un mejor mercado para consumo humano u otros usos que para combustible. Lo cual nos lleva a considerar estos productos como recurso energético cuando se habla de desperdicios o subproductos.

De esta manera se pueden aprovechar productos y/o sus residuos que contengan azúcares que se puedan fermentar para aprovecharse en producción de etanol. Finalmente, todos aquellos productos que no sean usados (como abonos o forrajes por ejemplo), se tendría la alternativa de quemarlos a granel o compactados y particularmente pelletizados, de lo que se hablará en otro capítulo.

## 2.5 Alternativas para manejar los residuos vegetales.

### 2.5.1 Material a granel

El material a granel requiere de grandes espacios para almacenarlo, debido a que presenta baja densidad, obligando con esto al uso de áreas descubiertas y además acarreado problemas para su manejo, así como pérdidas de material ocasionadas por la erosión eólica y por lluvias, y exponiéndolo al peligro de la incineración espontánea cuando se apila en montones altos, generada por las reacciones exotérmicas durante su descomposición biológica.

#### 1.5.2 Material en cubos o pacas

El material en cubos o pacas ofrece algunas mejoras en su manejo y en el ahorro de espacio para su almacenamiento, gracias al aumento de densidad que se logra con el material bajo esta forma, sin embargo, sigue siendo necesario el uso de espacios abiertos para su apilamiento, y, además, aún existe el problema de la combustión espontánea que ataca a los grandes volúmenes de material.

#### 1.5.3 Material peletizado

Peletizando el material se logra tener su más eficiente densidad y óptima condición para su manejo y almacenaje, ya que se logra convertirlo en una forma densa y estable que se puede almacenar durante lapsos prolongados sin peligro a la combustión espontánea. También se presta para un transporte económico o acarreo que pasa de ser una molestia a ser un producto valorado, y ofrece otras ventajas como son la reducción de polvos en el área de trabajo, logrando uniformidad del producto y calidad del mismo.

En el caso particular de la industria azucarera se tiene la fortuna de contar con grandes cantidades de residuos, los que hasta hace poco

tiempo se habían estado manejando ineficientemente, al ser quemado el exceso de bagazo sólo como una manera para reducir los espacios de almacenamiento.

Esta operación se lleva a cabo en calderas en donde, por descuido, poco importaba mantener una buena eficiencia del ciclo termodinámico con el que trabajan; debido al bajo costo que tenían los combustibles fósiles, lo cual hacía innecesario optimizar el aprovechamiento del bagazo disminuyendo el poder calorífico de éste en gran medida al entrar a las calderas con un alto contenido de humedad.

Sin embargo, las situación actual de los combustibles fósiles, es tal que, por tratarse de recursos no renovables empiezan a escasear, haciendo que su precio se encuentre muy elevado. Y por lo que respecta a otras fuentes tradicionales, como lo son el carbón y la hidroenergía, existen también sólo en cantidades finitas y no logran satisfacer las necesidades energéticas indefinidamente; por el lado de las fuentes alternas, como la fisión nuclear, ésta ha resultado ser compleja en cuanto a tecnología y a seguridad así como controvertida en cuanto a sus efectos sobre la naturaleza. En cualquier caso nuestro país no se encuentra en posibilidades de utilizarla en un futuro próximo. Como otra fuente alterna está la energía solar que tiene buenas posibilidades para el futuro pero que en el presente aún es poco práctica, debido a problemas de economía de escala.

Las otras fuentes alternas existentes como la energía eólica, la maremotriz, etc., aún no han sido desarrolladas a gran escala y están lejos de ser rentables.

Esta visión sobre los recursos energéticos nos hace resaltar la importancia del bagazo de caña como producto biomásico, siendo esta una fuente alterna de energía con mayores posibilidades de uso a corto plazo, y con potencial energético capaz de sustituir a los combustibles fósiles.

Para tratar de aprovechar al máximo el poder calorífico del bagazo de la caña de azúcar, se recurre al secado y densificado de este material con lo que se logra incrementar sensiblemente el poder calorífico por kilogramo. Normalmente al salir del proceso el bagazo tiene 50 % de humedad alcanzando un poder calorífico alto de 2,333.35 Kcal/Kg y una tonelada de bagazo con esta humedad equivale a un barril de combustóleo del # 6 lográndose una eficiencia en calderas de baja presión del 65 %, mientras que llevando el bagazo hasta un 10 - 12 % de humedad se obtiene un poder calorífico alto de 4,000 Kcal/Kg, y la equivalencia de una tonelada de bagazo bajo estas condiciones es de 2.5 barriles de combustóleo # 6 alcanzando una eficiencia en las calderas del 80 %.

Además el secado y densificado del bagazo nos dan las respuestas a problemas como almacenamiento del exceso de material de una manera más fácil, porque así no se ocupa mucho espacio, no se deteriora con el tiempo y puede ser recuperable; por otra parte, se anula el riesgo de la combustión espontánea y se minimiza la pérdida de material al hacer el almacenamiento de los pellets en costales o silos según las posibilidades con que se cuente.

## C A P I T U L O II. ESTUDIO DEL PROCESO DE PELETIZADO.

El peletizado es usado principalmente en la industria alimenticia, en la fabricación de productos balanceados para animales, así como en las industrias farmacéuticas y de plástico.

En la industria alimenticia se cuenta con amplia experiencia en el proceso de peletizado utilizando productos de origen vegetal. Estos conocimientos presentan analogías con el principio de operación que pretendemos llevar a cabo en el densificado del bagazo de caña para su uso como combustible.

### 2.1 Definición.

La peletización se define como una operación de tipo termoplástica de extrusión en la cual se logra que la aglomeración de materiales cuyas partículas finalmente divididas, sean formadas en un "pellet" compacto y de fácil manejo.

Es termoplástica porque los ingredientes como los azúcares y proteínas que contiene la materia prima, al contacto con el calor y la humedad se vuelven plásticos.

Básicamente se conocen dos procesos de peletizar que son: el proceso de extrusión en seco y el proceso de extrusión húmeda.

Proceso de extrusión en seco: Este proceso está basado en el principio de producción de calor por fricción bajo presión, en donde un tornillo sin fin empuja a los ingredientes a través de una serie de obstáculos dentro de una cámara de reacción cilíndrica. Por medio de este método las grasas, el agua y los sólidos de bajo punto de fusión sirven

como lubricantes. La fricción y presión resultantes del paso de alimento a través de la cámara producen el desprendimiento de calor, el cual cocería a los ingredientes, si no se tuviera un tiempo de paso a través de la cámara, menor a los 30 segundos.

Si este efecto contribuye a conservar las características nutricionales y energéticas por el tiempo ultracorto de cocimiento, de igual forma se puede esperar que en el caso del bagazo, en éste no se alteren sus propiedades como combustible al procesarse.

Este proceso tiene efectos sobre todos los componentes de una formulación desde un punto de vista alimenticio, pero cabe mencionar uno de estos efectos por la importancia que puede tener para el bagazo de caña. Este efecto es realmente enfocado a la reducción de volumen, porque de la acción mecánica, molienda y trituración, la estructura hueca de los materiales fibrosos es compactada, originando un cambio en su densidad. Los ingredientes con alto contenido de fibra son normalmente bajos en humedad y la toman lentamente, por lo que requieren algún tipo de preacondicionamiento antes de la extrusión.

En síntesis, durante el proceso de extrusión en seco, el beneficio práctico que se tiene es el del incremento en la densidad de materiales altamente fibrosos.

Proceso de extrusión húmeda: Por medio de este proceso se obtiene un producto compactado al que llamamos anteriormente pellet, de forma cilíndrica, que por lo general tiene las siguientes características geométricas: pellets de diámetro grande entre 15.87 y 19 mm, pellets de diámetro pequeño entre 3.17 y 6.35 mm. Tales características estarán

en función del componente motriz a través del cual fluirá el material, lugar donde el pellet obtiene su densidad. El espesor del componente motriz al que llamaremos dado, determinará el tamaño final del pellet, es decir, el largo de un pellet varía de 2 a 3 veces el tamaño de la perforación de un dado (por ejemplo, un peletizado de diámetro de 6.35 mm tendrá un largo aproximado de 12.7 mm). Algunas características físicas que podemos mencionar son las siguientes:

Dureza: La dureza del pellet no permitirá la pérdida de materiales finos.

Densidad: La densidad nos permitirá obtener cambios en peso por metro cúbico de los componentes como se reciben. (En el bagazo de caña se tienen generalmente pellets con densidad absoluta de 993.14 Kg/m<sup>3</sup> a 1,809.25 Kg/m<sup>3</sup>).

Porcentaje de humedad: El pellet gana humedad en su proceso de formación al lograr una mezcla suave y fluida. Al salir del molino peletizador, el pellet producido tiene porcentajes de humedad cercana al 30 % y al secarlo se logran rangos del 10 al 12 % de humedad.

Resistencia: Con la resistencia podemos hacer un mejor manejo del pellet sin que se hagan gránulos fácilmente o se desmenuen.

## 2.2 Ventajas y desventajas.

### Ventajas:

- 1.- Al peletizar un producto se incrementa su densidad, siendo de mucha importancia en nuestro caso ya que se manejan productos fibrosos. Al bagazo se le puede densificar con una propor

ción de 4 a 1. Esta densificación mejora el manejo de volúmenes, haciendo que los materiales difíciles de manipular asuman características de flujo libre.

- 2.- Reduce los requerimientos de espacio de almacenaje a un mínimo.
- 3.- Minimiza la pérdida de ingredientes de polvo fino y hace el área de trabajo más cómoda porque reduce el polvo.
- 4.- Asegura una homogeneidad de el producto y una buena calidad del mismo.
- 5.- Facilita el almacenaje de diferentes materiales que de otra forma son difíciles o imposibles de unir.
- 6.- No se presenta la combustión espontánea, que puede ocurrir cuando el material es manejado a granel o en cubos.
- 7.- Se mejoran las propiedades mecánicas y la combustión de la materia prima.
- 8.- Se logra una alta eficiencia en la generación de vapor.
- 9.- Se tienen bajas emisiones de gases contaminantes.
- 10.- Los pellets combustibles no requieren de cambios en los equipos para una buena operación.
- 11.- No requiere instalaciones y equipos muy sofisticados con lo que se puede implementar en los lugares donde se cuente con materia prima.

Desventajas:

- 1.- Requiere una fuerte inversión inicial en equipo.
- 2.- Es además un proceso que no ha tenido mucho desarrollo por lo que la experiencia con que se cuenta es escasa.

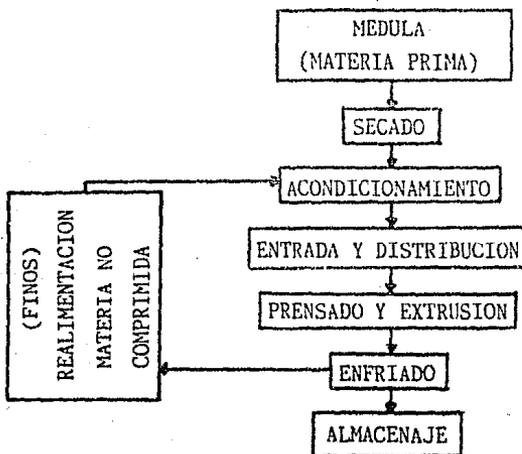
- 3.- Es un proceso que consume energía, la cual puede ser excesiva si no se conoce bien la operación tanto empírica como teóricamente.
- 4.- En algunos casos, el dado tiene una vida útil muy corta a causa de la abrasividad de ciertos materiales.

### 2.3 Proceso de Peletizado

Existen etapas de apoyo en la operación de peletizado que nos ayuden a mejorar la calidad y eficiencia en la obtención de pellets combustibles. Es importante observar una buena operación y coordinación de éstas.

La operación más crítica reside en el prensado y la extrusión, por lo que las etapas previas son imprescindibles para minimizar el consumo de energía, homogeneizar al material y lograr la consistencia óptima necesaria en estos pasos críticos, además de que prolongan la vida útil del dado y los rodillos.

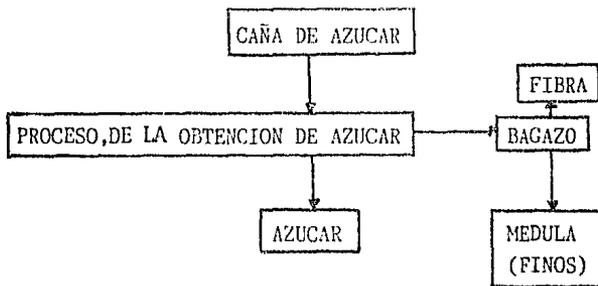
Los pasos fundamentales en la producción de los pellets son:



### 2.3.1 Materia prima (Bagazo de caña de azucar)

Es el producto resultante de la operación de molienda de la caña de azucar. Generalmente, al salir del último molino este material cuenta con algo más del 50% de humedad, tamaño de partícula malla 5 x 5 (aprox. 4 mm<sup>2</sup>) y temperatura cercana a la ambiental.

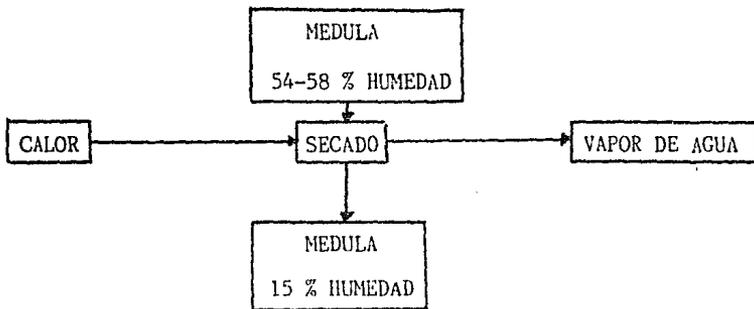
Para el proceso de peletizado se requiere cierta uniformidad del tamaño de la partícula, razón por la que hemos considerado más conveniente utilizar la médula del bagazo, separada de éste en un molino de cuchillas (desmodulador).



### 2.3.2 Secado

La médula al salir del molino desmedulador alcanza humedades de hasta 58 %, lo cual dificulta la capacidad de absorción de aditivos en la etapa de acondicionamiento. El secado tiene entonces la finalidad de llevar la médula hasta una humedad de 15 % o tanto menor como sea posible. En esas condiciones, el material es llevado a las tolvas

de alimentación (\*).



Las tolvas de abastecimiento o tolvas de trabajo, son conectadas directamente al alimentador para proveer un suministro continuo de material a la peletizadora, por lo que, se dice que el alimentador es el acelerador de la peletizadora.

El alimentador es generalmente un transportador de tipo tornillo helicoidal, y debe ser cónico o de paso variable para dejar que el alimento fluya uniformemente al salir de la tolva. Es accionado por un motor de velocidad variable, y debe poder ser controlado fácilmente por el operador de manera que pueda ver el amperímetro de la peletizadora y a la vez checar la condición de los materiales que entran a la peletizadora.

El diámetro del tornillo helicoidal así como el paso deben ser balanceados de acuerdo al flujo de alimento y en operación normal se debe

(\*) Paralelamente a este seminario de tesis, se desarrolla otro enfocado hacia el secado de la médula en un sistema de lecho fluidizado.

Fac. Ingeniería, U.N.A.M.

manejar una velocidad arriba de 100 r.p.m. ésto logra evitar demasías en la descarga del tornillo y ayuda a dar un flujo constante.

### 2.3.3 Acondicionamiento

El acondicionamiento es básicamente la preparación del material para que al pasar por la etapa de prensado y extrusión, éste ofrezca mínima resistencia, conservando una buena consistencia.

Aunque el acondicionamiento previo para las peletizadoras siempre ha comprendido una mínima parte del proceso, es el más difícil de controlar debido a las muchas variables involucradas, como son las características específicas de cada producto, los aditivos usados y los factores externos que limitan a la peletizadora, entre otros.

Las ventajas que se logran al acondicionar adecuadamente la mezcla del material son:

- 1.- Mejoramiento tanto de fluidez como de formabilidad de los ingredientes, reduciendo con esto el consumo de potencia.
- 2.- Se minimiza la fricción entre el producto y el dado al reducir sus características abrasivas por la lubricación que se dá; esto hace que se tenga una mayor duración de la vida útil del dado y del rodillo.
- 3.- Mejoramiento en la calidad del pellet, al ligarse en conjunto el material con adhesivos naturales.
- 4.- Maximiza la tasa de producción.
- 5.- Al reducir los esfuerzos en la peletizadora por la suavidad de los ingredientes, así como por el flujo a bajas presiones,

se reducen los costos de mantenimiento.

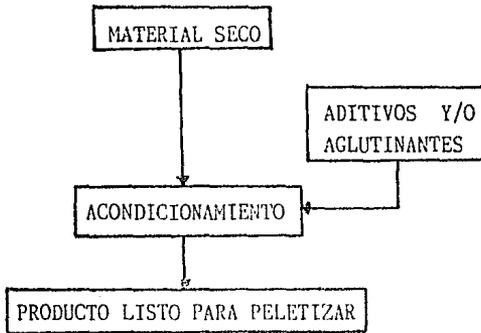
Generalmente el equipo usado como acondicionador es un gusano helicoidal, que nos permite preparar al material de una manera continua, logrando un mezclado profundo, y controlando los aditivos y aglutinantes necesarios, así como regulador del tiempo requerido para hacer homogénea la mezcla (en la producción de alimentos normalmente es entre 15 y 20 segundos).

Lo importante en esta etapa del proceso es que se logra un completo contacto entre aditivos o aglutinantes e ingredientes sólidos del material.

Los aditivos comúnmente usados han sido melazas y vapor. El calor del vapor acelera el proceso de suavización de los adhesivos naturales contenidos dentro del producto, favoreciendo a la producción y calidad del pellet, y reduciendo la abrasión y la potencia requerida. Además el vapor mantiene la suficiente temperatura para que la melaza no solidifique en el exterior de las partículas formando bolas. La experiencia ha demostrado que es más fácil absorber melazas si se maneja por aspersión en caliente.

Es por todo esto que el uso del vapor en esta etapa es de gran importancia.

Se debe buscar que los aditivos no varíen en sus características y parámetros de operación, para así poder predecir siempre su comportamiento y lograr una compactación homogénea.



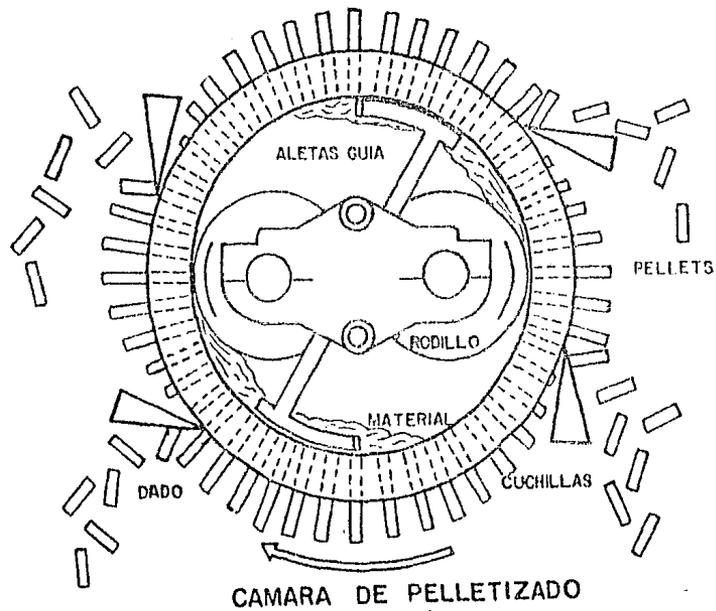
#### 2.3.4 Entrada y distribución

Un factor importante en la tasa de producción y en la vida de los componentes de una peletizadora es la distribución adecuada de la mezcla proveniente del acondicionador. Se debe tener un flujo parejo de material para cada rodillo prensador, y se debe repartir en una capa uniforme a través de la superficie del dado, alimentándose adelante de cada rodillo.

Esta distribución se logra mediante paletas guías en la boca de la cámara de peletizado colocadas a cierto ángulo particular para cada tipo de material.

Los ingredientes de alta densidad tienen la tendencia a fluir rápidamente hacia la parte trasera del dado, mientras que los ingredientes de alto contenido de fibra tienen mucho menor tendencia a fluir a través de la carga del dado. Por lo tanto, deben ser forzadas a fluir a la posición correcta.

Es imperativo que la distribución del material sea apropiada desde el primer minuto en que el dado se ha instalado, ya que de otra manera



se empieza a desgastar el dado en aquellas áreas donde el rango de alimentación es más elevado, hasta un punto tal en que los rodillos empiezan a patinar, resultando un producto no uniforme o inclusive llegar a atascar o taponear la cámara de peletizado. De manera que si se logra ajustar la distribución de material para repartirlo a través del dado proporcionalmente, la capacidad de producción de la peletizadora se incrementará.

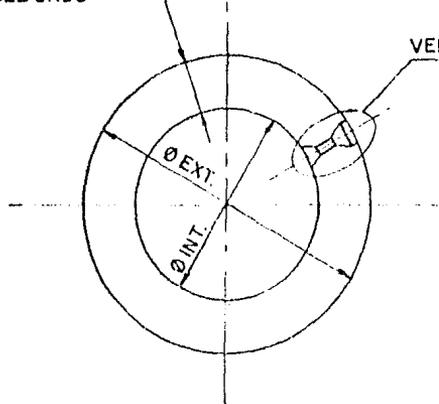
### 2.3.5 Prensado y Extrusión

La cámara de peletizado es el corazón de la operación del proceso son en realidad actividades de apoyo a las acciones que ocurren en esta área crítica. Se debe entonces observar detenidamente esta área para entenderlo completamente.

La cámara de peletizado está compuesta por el dado extrusor, rodillos prensadores, paletas guías distribuidoras y las cuchillas cortadoras.

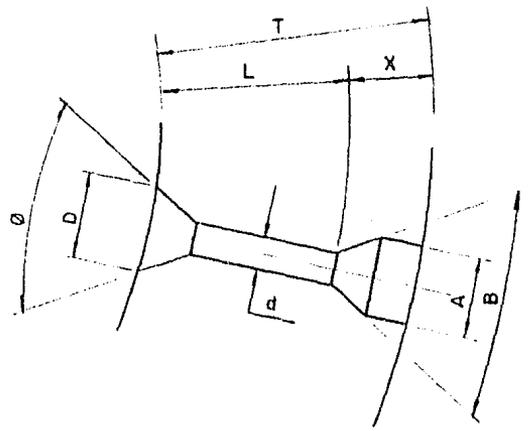
El dado es el componente motriz y obtiene su fuerza del motor principal de la peletizadora. Está perforado con agujeros a través de los cuales el material fluye en forma compactada, y sus características generales se muestran en la figura del dado extrusor.

ESPEJOR TOTAL  
DEL DADO



VER DETALLE A

### DADO EXTRUSOR



### DETALLE A

- d = DIAMETRO DEL PELLET
- L = LONGITUD EFECTIVA
- T = ESPESOR TOTAL DEL DADO
- D = DIAMETRO DE ENTRADA
- Ø = ANGULO DE ENTRADA
- X = ALIVIO
- B = ANGULO DE ALIVIO
- A = DIAMETRO DE ALIVIO
- $D2/d2$  = RANGO DE COMPRESION

Muchas de las características del dado pueden ser variadas para obtener los resultados deseados en cada formulación especial que se desee peletizar.

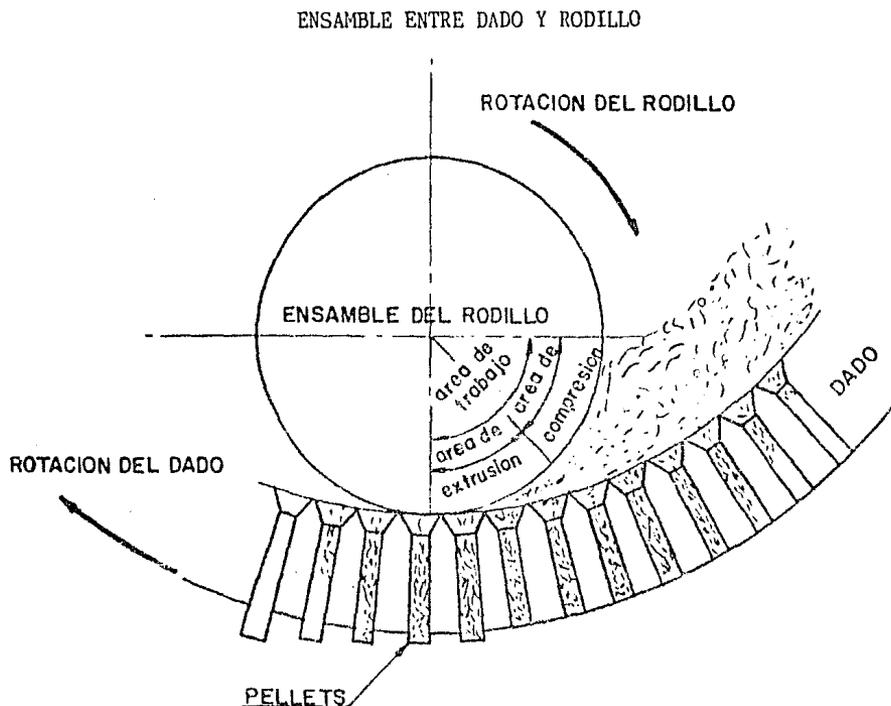
Se manejan dos relaciones principales entre los parámetros del dado una de ellas es el rango de compresión ( $D^2/d^2$ ), el cual es un índice de cómo es comprimido el material en el dado y la otra es el factor de trabajo ( $L/d$ ), siendo éste un término que relaciona al espesor efectivo de un dado con el diámetro del pellet.

Estas dos relaciones juntas nos dan las bases para discutir las medidas de un pellet de cualquier ingrediente en particular y su relación con los requerimientos en el dado. Asegurando además mantener el mismo criterio para la calidad y producción de pellets.

Los rodillos prensadores son simplemente cilindros girando libremente sobre rodamientos y teniendo como fuerza motriz a la fuerza de fricción procedente del contacto con una capa muy delgada de material acondicionado entre el dado y el rodillo, esto hace ver la importancia de un buen ajuste entre rodillos y dado, así como de una distribución uniforme de material por el frente de los rodillos y por todo el ancho de los mismos. En cualquier momento que se pierde este ajuste, el rodillo actuará como un arado empujando al material a lo largo de la cara del dado en vez de forzarlo a ser extruído a través de los barrenos del dado.

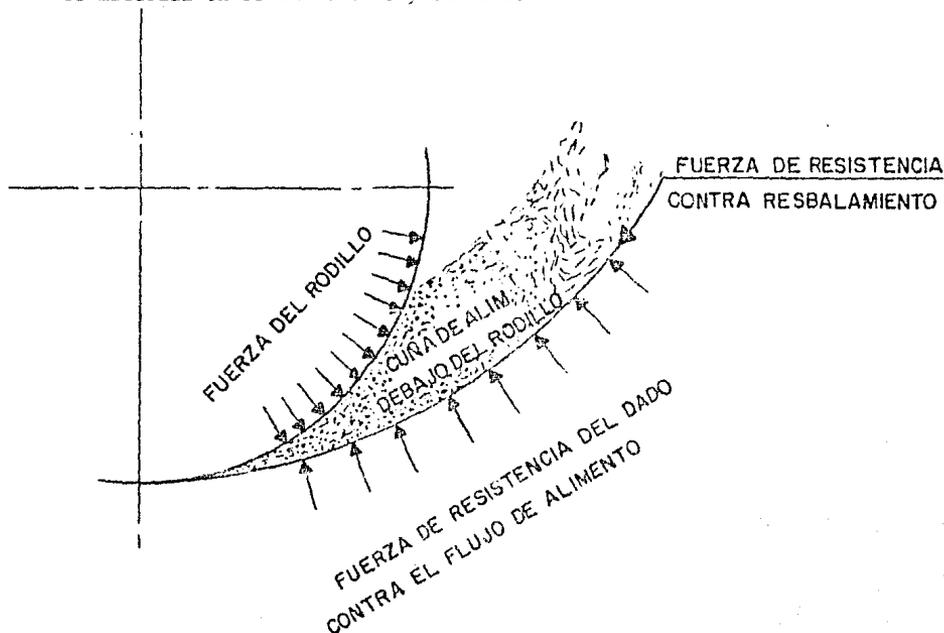
El área que se tiene en el ensamble entre cada rodillo y el dado es llamada "Área de trabajo de la cámara peletizadora", y es aquí donde el material acondicionado desde su densidad original es comprimido y después forzado a fluir a través de los agujeros del dado, lográndose

así la producción de pellets compactos.



Para entender completamente cómo trabaja una peletizadora se debe poner atención especial a las fuerzas que intervienen en la cámara de peletización, principalmente entre el dado y los rodillos. Existen tres fuerzas que son de consideración en este punto; la primera en importancia es la fuerza del rodillo que actúa sobre el material acondicionado obligándolo a compactarse y a ser extruído a través del dado. En se-

gundo término, está la fuerza radial del dado que resiste el flujo de material a través de los agujeros del dado. Y finalmente se tiene una fuerza tangencial en la cara del dado que mantiene una cuña constante de material entre el rodillo y el dado.



## DIAGRAMA DE FUERZAS

Cuando se tiene un incremento en la cantidad de material frente del rodillo, la fuerza de compactación que ejerce éste sobre el material se hace insuficiente y entonces el rodillo empieza a resbalar, originándose un atascamiento total dentro de la cámara de peletizado; para evitar esto, es necesario hacer lo posible para surtir un flujo de alimento constante y uniforme a la peletizadora. Este fenómeno ocurre en

cada rodillo individualmente, en su relación con el dado, por lo que también es imperativo el suministro de material en igual cantidad para cada rodillo y además de una distribución para toda la cara del dado, es decir, el ancho del dado. Esto es logrado gracias al uso de paletas guías en la cubierta del dado y paletas distribuidoras unidas al eje de los rodillos. Finalmente se tienen cuchillas montadas en la tapa de la peletizadora que cortan a los pellets tan pronto como son extruídos del dado, para que así los pellets producidos salgan a través de la puerta de descarga de la peletizadora.

En esta etapa el pellet está en su estado más frágil. Se ha formado pero es aún un producto plástico, suave y fácilmente deformable. Se deben hacer esfuerzos para manejar este producto tan cuidadosamente como sea posible hasta que sea enfriado, secado y endurecido.

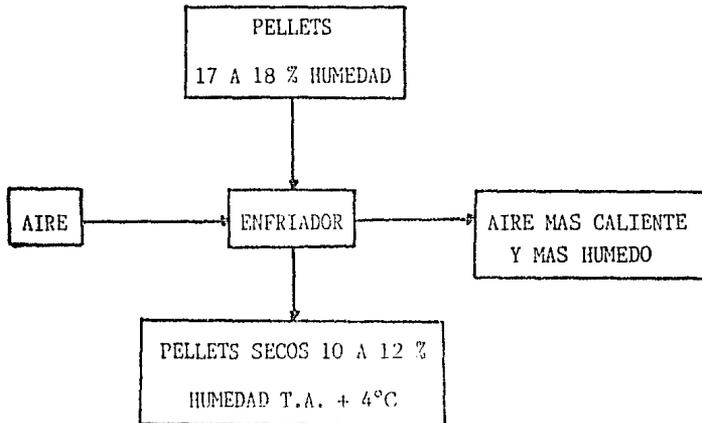
Preferentemente el pellet debe caer directamente de la peletizadora al enfriador porque cualquier tipo de manejo mecánico genera finos, obteniéndose una baja producción y tiempo perdido.

### 2.3.6 Enfriado

El enfriador es un dispositivo que a base de aire, inducido generalmente, remueve al mismo tiempo y en una manera ordenada tanto la humedad como el calor.

En esta etapa se cuenta con humedades de 17 ó 18 % y temperaturas de 85 a 90°C, el enfriador entonces reduce la humedad hasta 10 ó 12 % y una temperatura máxima de 4°C sobre la temperatura ambiental, esto es con la finalidad de lograr un almacenaje y manejo adecuado de pellets mediante el endurecimiento y la pérdida completa de adherencia, así como

también nos ayuda a elevar el poder calorífico del pellet combustible.



### 2.3.7 Almacenaje

El producto obtenido así, se puede manejar empacado en sacos o almacenado en silos , de acuerdo a las posibilidades con que se cuenten, pudiendo permanecer así el tiempo necesario hasta que el pellet sea requerido como combustible.

### 2.4 Criterios de selección de una peletizadora.

Existen muchos factores que deben ser considerados en la selección de una unidad peletizadora, sin embargo, para cada caso particular se deberá determinar o clasificar la importancia de cada uno de ellos.

Al pensar en un sistema peletizador el primer análisis que se debe efectuar está entre el capital a invertir contra los diferentes productos a obtener, esta evaluación inicial nos dará el índice de rentabili-

dad en el equipo a comprar, o en su caso optar por el método tradicional en el manejo de materiales con que se contaba, o usaba.

Cuando se ha decidido el uso de una unidad peletizadora su capacidad deberá ser calculada de acuerdo a los requerimientos del material y buscando un manejo eficiente de éste.

Entre estos requerimientos se consideran principalmente:

- a) Tipo de formulación o de ingredientes a manejar, ya que de esto dependerá la potencia necesaria en el motor principal, sabiéndose se que para cada clase de material se tiene una serie de categorías que dan rangos de producción razonablemente consistentes cuando operan a determinado caballaje.
- b) El tipo de aglutinantes y adhesivos disponibles para el logro de un eficaz acondicionamiento del material ayudando así también a disminuir la potencia requerida.
- c) Las condiciones ambientales en el lugar de operación, ya que éstas tienen cierta influencia en el área de acondicionamiento, sobre todo si la humedad o la temperatura son extremosas, o cuando se tienen grandes variaciones de éstas.
- d) El equipo de molienda con que se cuente es importante también porque si se tiene un material lo suficientemente fino, ayudará a que fluya más fácilmente a través de los agujeros del dado reduciendo todo esto la demanda de fuerza, y en caso contrario, si la peletizadora tiene que hacer función de molienda en la cara del dado, la productividad se va a ir hasta abajo.

Otros factores que deben ser cuestionados son: el mantenimiento ne

cesario para el equipo, si deberá ser muy sofisticado; la operación de la máquina, si se cuenta con la suficiente mano de obra calificada, habra que capacitar al operador; será posible la adquisición de partes de repuesto para piezas que estén gastadas o que se dañen repentinamente etc.

#### 2.4.1 Evaluación inicial

La evaluación inicial se realiza con el fin de ver si el material tiene las características necesarias para convertirse en pellet a un nivel de potencia práctica, para esto es necesario realizar pruebas en equipo tamaño de producción ya que se pueden evitar los errores e impresiones falsas en las lecturas de los datos o parámetros a considerar que se pueden tener en un equipo de laboratorio en miniatura. Dentro de esta prueba se pueden evaluar las características del dado, tipo de rodillos, la velocidad del peletizador y la potencia requerida; esta última es una buena indicación del tipo de operación que uno tiene que anticipar con su material particular.

#### 2.4.2 Análisis de costo

En este punto se deben de evaluar los costos de peletizado. Para esto existen factores que determinan el costo de operación de una máquina de este tipo, dichos factores son los siguientes:

- Inversión inicial
- Demanda de potencia. Esta es debida a que el material debe ser extruído a través del dado, lo cual requiere de cierta potencia para lograrlo, asi como para la generación de vapor y el

enfriado.

- El material que pasa a través del dado es abrasivo en la mayoría de los casos, por lo que ocasiona desgaste en los dados y los rodillos, que son gastos que se tendrá que calcular en la justificación del proceso de peletizado.
- El tiempo de mantenimiento, tiempo de montaje y tiempo de operador son costos del peletizador.

### 2.4.3 Equipo auxiliar

Para poder peletizar bien se debe pensar en requerimientos mínimos de equipo auxiliar.

- El ritmo de producción adecuado en una peletizadora se debe a una alimentación uniforme, acondicionamiento adecuado a un movimiento suave y firme de los rodillos y el dado, y un enfriamiento homogéneo, para que el equipo funcione eficientemente.
- Al mismo tiempo se está buscando que el equipo se conserve en buen estado.
- Complementándose los requerimientos mínimos con la seguridad para el operador y para el equipo.

Podemos decir que el atascamiento debido al exceso de material en una zona de la cámara de peletizado se origina por malas formulaciones o por alimentación excesiva, lo cual a su vez puede originar otros problemas más graves como rompimiento de piezas o sobrecarga en maquinarias.

Es imposible hablar de un equipo operando homogéneamente sin mantener un control de los parámetros.

Por otra parte debe existir también un balanceo entre un buen pro-

ducto a un bajo ritmo de producción y un mal producto con una tasa alta de producción.

El equipo auxiliar debe ayudarnos también en condiciones de arranque y de paro, ya que estas condiciones tienen sus propios parámetros.

Dentro del equipo auxiliar que se requiere están: las tolvas de almacenamiento tanto de pellets como de materia prima, generalmente molinos para dar un tamaño adecuado al material, en otros casos se incluyen, además, trituradoras para obtener gránulos a partir del pellet.

Otros equipos auxiliares son los instrumentos de medición de gasto para el vapor, la melaza, materia prima, medición de presión de vapor y melaza, medición de temperatura de vapor y melaza, y medición de corriente del motor que proporciona la potencia mecánica.

Los sistemas de control en general pueden ser opcionales. Algunos parámetros que ya se controlan casi siempre en forma automática son: dosificación del alimento, inyección de vapor, inyección de melaza, carga de la máquina.

Algunos sistemas de protección que se encuentran ya en todas las peletizadoras son: la carga máxima de la máquina, las puertas de los tanques y los mezcladores que al abrirse paran la máquina.

Los criterios para determinar qué tanto equipo auxiliar se requiere estarán en función de:

- El mantenimiento que requirirá
- Costo inicial de operación
- Importancia de adquisición de equipo de control automático.

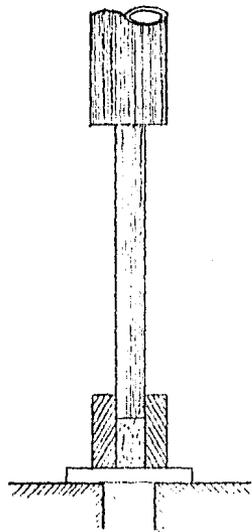
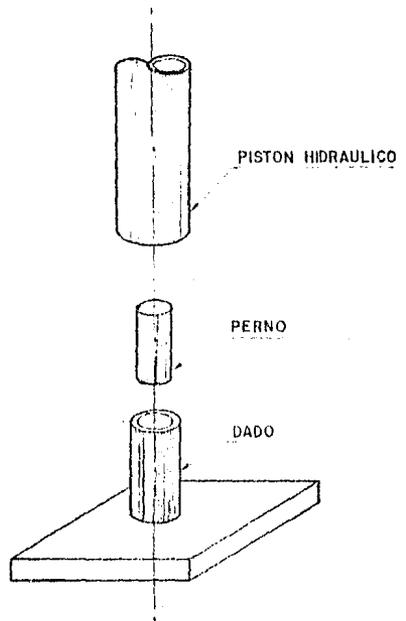
## C A P I T U L O III. ENSAYOS SOBRE PELLETS COMBUSTIBLES.

### 3.1. Obtención de pellets de muestreo.

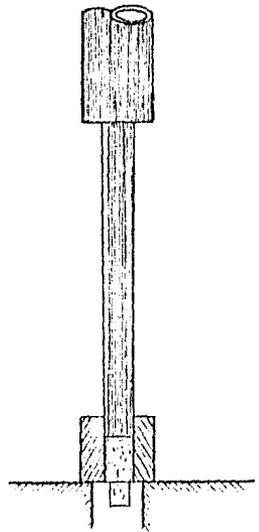
Para la realización de pruebas experimentales, se llevó a cabo la fabricación de pellets de diferentes tamaños y formulaciones. Sin embargo, debido a la falta de máquinas peletizadoras, la producción de pellets combustibles se hizo por medio de un mecanismo de cilindro y pistón, en donde primero se comprimía el material manteniendo cerrado el cilindro, y después el pellet ya formado se expulsaba con el mismo pistón y el cilindro abierto; esto se realizaba en dos pasos separados, lo cual constituye la principal diferencia entre este método de producción y el realizado en una máquina peletizadora.

Otra diferencia entre estos procesos se tuvo con el acondicionamiento del material, ya que, en la máquina peletizadora éste es llevado a cabo por medio de vapor y en el método usado no se empleó, lo que implicó una mayor fuerza requerida para la formación de pellets siendo evidente su producción lenta.

(El equipo utilizado para aplicar carga de compactación y carga necesaria para la extrusión, fue: una prensa hidráulica capaz de darnos una carga hasta de cien toneladas).



COMPACTACION



EXTRUSION

### 3.2 Alternativas de sustitución "Vinaza por Melaza".

#### 3.2.1 Pruebas de laboratorio

En la operación original de peletizado (alimento balanceado), se usan las melazas como aglutinantes. En la fabricación de alcohol, tenemos como producto residual a las vinazas, cuya composición se indica a continuación:

#### ANALISIS DE VINAZA CONCENTRADA

##### I. ANALISIS PROXIMO

##### VINAZA CONCENTRADA

	Base Seca %	Base Húmeda %
Humedad	-	25.77
Proteína	5.94	4.41
Cenizas	21.09	15.66
Grasa Cruda	0.17	0.13
Fibra Cruda	-	-
E.L.N.	72.80	54.03

##### II. MINERALES

##### VINAZA CONCENTRADA %

Calcio	9.93
Fósforo	0.08

##### III. SALES

##### VINAZA CONCENTRADA %

Sulfatos $SO_4$	2.57
Carbonatos $CO_3$	3.35
Cloruros Cl	5.25

##### IV. AZUCARES REDUCTORES

Directos	0.539 g/100 g
----------	---------------

E.L.N. Extracto libre de nitrógeno; incluye: azúcares, almidones, ácidos orgánicos, etc.

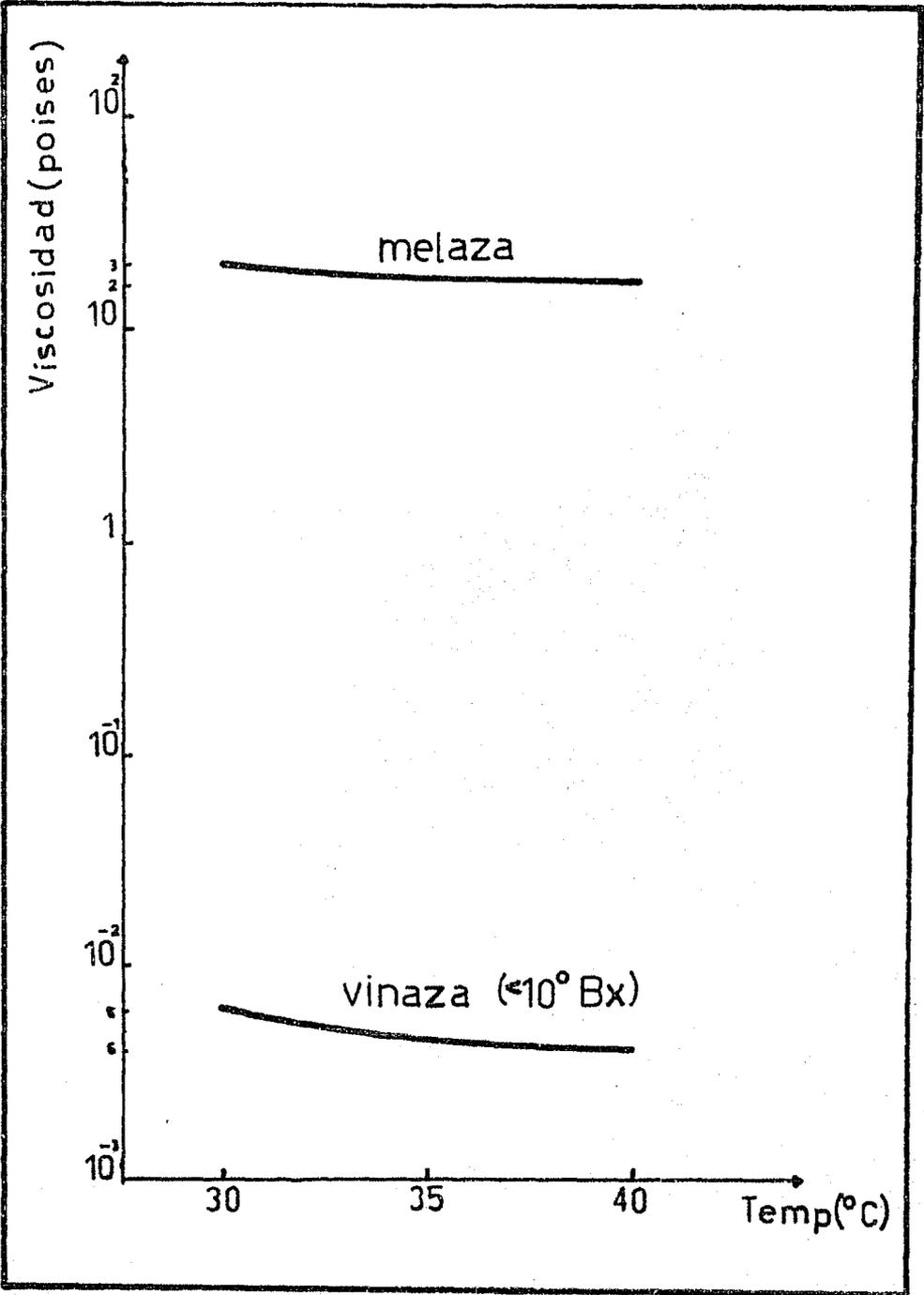
Este producto residual se planteó como un posible aglutinante sustituto para la obtención de los pellets, dada su elevada influencia como elemento contaminante de la destilería.

Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio con el "reogoniómetro", siendo éste un aparato utilizado para estudiar las propiedades de los fluidos no newtonianos ( aquéllos que no siguen la ley lineal de la viscosidad ).

Los resultados de las pruebas llevadas a cabo en este equipo, no están sólo en función de la temperatura, sino también en función de la velocidad con la cual este fluido es bombeado.

La finalidad de esta prueba, era buscar la posibilidad de encontrar un punto en el cual el comportamiento mecánico de las vinazas estuviera lo más cerca posible al de las melazas, sin embargo no se encontró un punto común entre estos dos compuestos, debido a que en la gráfica viscosidad - temperatura las curvas características de cada una de éstas tenían rangos muy diferentes y no existía ninguna intersección. Este resultado fue ratificado al realizarse pruebas de campo con diferentes combinaciones en porcentaje de mezcla entre vinaza y médula, incluyéndose también diferentes valores de concentración de sólidos ( grados Brix de 11 grados que originalmente se tiene hasta 35° logrados por evaporación de humedad ). Solamente la concentración de las vinazas hasta 70° Brix acerca ambos comportamientos, tal y como se verá adelante.

En todos los casos estudiados para la formación de pellets, al com-



pactar el material, las vinazas escurrían y el producto resultante no tenía adherencia.

Por otro lado, es importante señalar que la obtención de los pellets no se hizo en una máquina peletizadora, sino que fue un proceso dinámicamente diferente; lo que nos permite asegurar que el uso de vinazas concentradas (hasta 70° Brix) en conjunto con otros materiales adhesivos tales como hidróxido de amonio, arroje resultados aceptables.

### 3.3 Formulaciones diversas.

#### 3.3.1 Pruebas en campo

Se buscó mezclar la médula con diferentes tipos de aglutinantes para lograr una buena compactación y adherencia, con una mínima cantidad de trabajo para su obtención.

Las formulaciones realizadas en campo fueron las siguientes:

- a) Médula y vinaza
  - b) Médula y vinaza concentrada
  - c) Médula, vinaza y formol
  - d) Médula y formol
  - e) Médula y miel final
  - f) Médula húmeda
  - g) Médula seca (12% humedad)
- a) Médula y vinaza: en esta formulación se intentaron combinaciones del 11 % al 33 % de vinazas y presiones hasta 7.037 Kg/cm<sup>2</sup> (100 lb/in<sup>2</sup>) debido a que a presiones mayores la mezcla empezaba a fluir impidiendo lograr la compactación buscada, y el material que quedaba aún en el cilindro tenía una consistencia nula,

por lo que, con esta combinación no se obtuvieron pellets, con este método.

- b) Médula y vinaza concentrada: otra forma de usar la vinaza fue aumentando la concentración de sólidos de 11° Brix hasta 35° Brix por medio del calentamiento de ésta. Aquí se intentaron formulaciones del 10 % de vinazas concentradas y presiones hasta 7.037 Kg/cm<sup>2</sup> (100 lb/in<sup>2</sup>), punto donde también la mezcla empezaba a fluir sin obtenerse adherencia. Se utilizó también vinaza concentrada a 70° Brix, ya que con esta concentración la vinaza tiene una consistencia parecida a la melaza, que tiene una concentración de sólidos en suspensión de aproximadamente 80° Brix. La razón de buscar propiedades parecidas a la melaza es su uso generalizado en el peletizado de alimentos balanceados para ganado en donde este proceso ha sido bastante conocido.

Usando las vinazas en estas condiciones y con un porcentaje en peso dentro de la formulación del 10 al 18 %, el material se logró compactar con presiones mayores a 52.78 Kg/cm<sup>2</sup> (750 psig) punto a partir del cual el material empezó a escurrir y además se presentó atascamiento entre el pistón y el dado.

El producto obtenido así presentó adherencia y compactación, pero apenas suficiente para su manejo cuando se compactaron entre 52.78 y 88 Kg/cm<sup>2</sup> (750 y 1,250 psig); a presiones mayores, se logra buena compactación, pero se tiene el problema de escu-

rrimiento de casi todo el contenido de vinaza en la mezcla.

- c) Médula, vinaza y formol: Buscando mejorar las características de las vinazas, se intentó usar una formulación a base de vinazas (11° Brix) y médula junto con un catalizador, seleccionándose se formol al efecto, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura usadas en los ensayos anteriores. En este caso se observó que después de lograr una ligera compactación y una vez extruido el material tendía a expandirse, perdiéndose la poca adherencia lograda, lo cual nos dice que las vinazas deberán concentrarse aún más para su utilización potencial.
- d) Médula y formol: Con el fin de observar más detalladamente el comportamiento del formol que había sido usado con las vinazas, se intentó usar solamente médula y formol. En estas circunstancias, el material tuvo una mayor expansión con las mismas consecuencias de adherencia nula, de lo que se deduce que el formol es inadecuado como aglutinante para la obtención de pellets combustibles.
- e) Médula y miel final: Otro subproducto del ingenio azucarero es la miel final, que además se usa generalmente como aglutinante en el proceso de peletizado para alimentos balanceados, teniendo así la alternativa de usarla dentro de la formulación.

Usando formulaciones del 10 al 18 % se logró la compactación de la mezcla a presiones mayores de 52.78 Kg/cm<sup>2</sup> (750 psig) ocasionando que el material empezará a fluir, pero como es mu-

cho más viscosa la melaza, se presentaba atascamiento del pistón del cilindro.

Las características del producto obtenido fueron que, si se presentó adherencia y compactación, y que fue aumentando conforme la presión también lo hizo , llegándose hasta 141 - Kg/cm<sup>2</sup> (2,000 psig).

- f) Médula húmeda: Otro ensayo fue realizado con médula húmeda (55 %) tomándola directamente del último paso de molienda de la caña de azúcar. En este proceso, también se logró una compactación a presiones más bajas, desde 2.5 hasta 7 toneladas de carga, y a presiones mayores el material ya empezaba a fluir sin lograrse mayor compactación, los pellets producidos tuvieron una buena adherencia logrando reducción en volumen de 4 a 6 veces el volumen inicial.
- g) Médula seca (12 % humedad): Observando que los aglutinantes utilizados contenían líquidos incompresibles y aún usándolos con mínimos porcentajes, existía la tendencia a fluir fuera del cilindro antes de lograr una compactación, y basándonos en la teoría del proceso de extrusión en seco, (ver el punto 2.1 del capítulo II) se realizaron pruebas de campo utilizando médula seca (12 %) en las cuales se observó que se logró una buena compactación con cargas desde 2.5 toneladas y experimentando hasta 22 toneladas. En general todos los pellets obtenidos tuvieron buena adherencia, alcanzando reducción en volumen de 3.5 a 8.5 veces el inicial.

### 3.4 Pruebas mecánicas a los pellets.

Con el fin de cuantificar las propiedades mecánicas de los pellets que se lograron obtener, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, cuyos resultados nos permiten estimar que el pellet puede ser manejado y almacenado en silos y/o costales, sin que se presenten pérdidas considerables en finos o que éstos se destruyan fácilmente.

Es importante conocer la durabilidad del pellet combustible, dado que éste va a ser severamente manipulado, transportado y seguramente se dejará caer sobre el fondo del hogar de la caldera o en charolas para ser quemado. Con el fin de cuantificar esta durabilidad, se realizaron pruebas mecánicas de aplastamiento considerando que al llegarse al esfuerzo último el pellet se destruye.

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería en una máquina universal marca "Baldwin Tate" para pruebas mecánicas, con una capacidad de 200 toneladas a una velocidad de aplicación de carga de 500 Kg/min.

Aún cuando se tenían pellets compactados a diferentes presiones, en las pruebas destructivas de compresión, todos registraron un esfuerzo último alrededor de  $4,500 \text{ Kg} \pm 5 \%$ , observándose una deformación mayor en los pellets hechos a menor presión, esto nos explica por qué todos tuvieron valores similares en esfuerzo de ruptura.

Otra consideración es que la producción de finos era mayor en los pellets menos densos durante su manejo.

En conclusión, se puede decir que 4,500 Kg de resistencia a la compresión de los pellets, les da características de manejables como se

espera hacerlo, y que la inversión de energía para producirlos se puede minimizar en la medida que sean durables, y las pérdidas de éstos no sean grandes (la mayoría de fabricantes considera normal un retorno de finos producidos aproximadamente de 5 % del peso de material que entra a peletizar).

### 3.5 Pruebas de quemado.

Para la realización de estas pruebas, los pellets fueron quemados en una fragua, para poder observar más de cerca su comportamiento.

Las pruebas se realizaron con pellets de diámetros desde 9.52 mm (3/8") a 19.05 mm (3/4") y longitudes de 12.7 mm (1/2") hasta 25.4 mm (1") respectivamente, observándose que los pellets de menor volumen presentaban una combustión completa, no ocurriendo lo mismo con los pellets de mayor volumen, ya que la parte interior no alcanzó a quemarse en el tiempo que el pellet se expuso al calor, requiriéndose de un mayor exceso de aire para su completa combustión.

De acuerdo con estas pruebas realizadas en la fragua, se puede decir que los pellets de menor volumen son ideales para su proceso de quemado, aunque tomándose en cuenta que con un buen diseño de caldera y el exceso de aire requerido, se pueden utilizar los pellets de mayor volumen ya que éstos presentaron un menor trabajo para su obtención (para el caso del proceso de obtención de pellets, en el que primero se comprime y después se extruye, manera en que obtuvimos los pellets de muestreo).

Por otra parte, las diferentes densidades de los pellets obtenidos, a raíz de hacerse a diferentes presiones no fueron un factor que determi

nara una diferencia al quemarse.

Podemos decir que para pellets obtenidos en una máquina especialmente diseñada para peletizar a un ritmo adecuado para un ingenio, se requiere poner atención al dado para que nos dé un tamaño óptimo para quemarse, que en nuestro caso fue de 9.52 mm (3/8").

Otra consideración es la de que el equipo de enfriamiento del producto terminado, nos dé un porcentaje de humedad que no rebase el 15 por ciento, por la evidente repercusión en el poder calorífico del pellet combustible.

### 3.6 Conclusiones.

Entre los pellets que se lograron obtener tenemos a los que se hicieron con:

- a) Médula seca y miel final
- b) Médula seca y vinazas concentradas (70° Brix)
- c) Médula seca
- d) Médula húmeda

Dentro de estos tres tipos de formulaciones diremos que cualitativamente, los de mejores características fueron producidos con médula seca, posteriormente los producidos con médula húmeda, y por último los de médula seca y miel final o vinaza (70° Brix) en este mismo orden fue como más fácilmente se produjeron.

Sin embargo, tomando en cuenta las presiones que se requirieron para lograr su compactación, se observó que los pellets que requirieron una menor energía en su producción fueron primeramente los pellets produ

cidos con miel final o vinaza (70° Brix), luego los hechos con médula húmeda, y finalmente los realizados con médula seca.

Tomando en cuenta esto, los pellets hechos con médula seca vendrían a ser los mejores, ya que los hechos con miel final a pesar de requerir menor energía, presentaron problemas de atascamiento entre el pistón y el dado, así como un mayor tiempo en el acondicionamiento y preparación de la mezcla, lo mismo trabajando a temperatura ambiente que hasta 80° C.

Sin olvidar que estas consideraciones son particulares del método utilizado en este trabajo para la obtención de pellets, pero de acuerdo al proceso continuo que se ve con detalle en el capítulo III, se estima que peletizar con vinaza concentrada a 70° Brix, sí será factible esperándose buenos resultados.

Por otra parte, el hecho de concentrar vinazas a 70° Brix, requiere de una energía calorífica bastante grande. Además, en caso de aprovecharse la energía de otro proceso, requeriría también la inversión para la implementación de equipo necesario de tal manera que llevar a las vinazas a tener una consistencia parecida a la melaza, implica evaporar agua suficiente hasta que el volumen se vea reducido más de 15 veces.

## C A P I T U L O IV. REPERCUSION DEL NUEVO COMBUSTIBLE EN EL COMPORTAMIENTO TERMODINAMICO DEL CICLO Y/O PROBLEMAS PARA SU IMPLEMENTACION INDUSTRIAL.

### 4.1 Comparación entre bagazo húmedo y bagazo seco.

En la forma en que se obtiene normalmente el bagazo, contiene aproximadamente 50 % de humedad, 122 Kg/m<sup>3</sup> de densidad baja y un poder calorífico alrededor de 9.628 Kj/Kg y cuando es sometido a un proceso de secado y densificado, se logra la formación de pellets combustibles con las siguientes características: 12-15 % de humedad, densidad absoluta de 993 a 1,090 Kg/m<sup>3</sup>, densidad en masa de 560 a 720 Kg/m<sup>3</sup> y un valor calorífico de 16,774 Kj/Kg.

### 4.2 Importancia del contenido de humedad dentro del bagazo.

El contenido de humedad dentro del bagazo combustible tiene un efecto muy marcado sobre la eficiencia del generador donde es quemado. Aún cuando se logra bajar un poco el contenido de humedad, se tiene una reacción muy significativa en las características de combustible, y en caso contrario cuando la humedad es superior al 50 % se dificulta el quemado, que es el caso generalizado en los ingenios del país.

La gráfica que se muestra a continuación ilustra el efecto de la humedad sobre el valor calorífico neto del bagazo como combustible.

Esta curva ha sido obtenida de acuerdo con la fórmula de Hessey que a continuación se presenta:

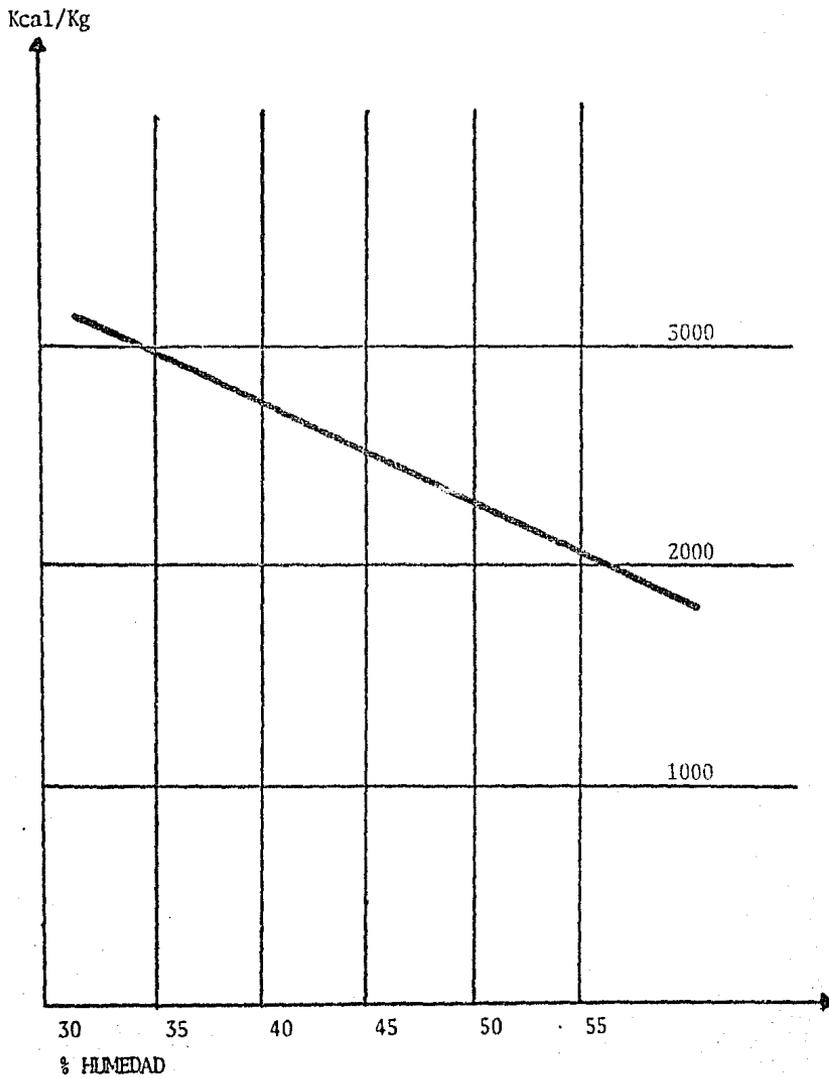
$$\text{HCV} = 4,636 - 12.3 \text{ S } \% - 46.46 \text{ W } \% \quad (\text{Kcal/Kg})$$

Donde:

W = % de humedad

S = % de azúcar dentro del bagazo

# EFFECTO DE LA HUMEDAD EN LA EVALUACION CALORIFICA NETA DEL BAGAZO



Con el uso del bagazo seco, se tiene también una mejora en la emisión de gases contaminantes, ya que la combustión produce un menor nivel de contaminación que cuando se quema bagazo húmedo.

#### 4.3 Efectos de nuevo combustible.

Este cambio en las características del bagazo como combustible permite llevar la eficiencia de una caldera desde un valor máximo de 65 por ciento (al quemar bagazo húmedo), hasta alcanzar una eficiencia del 80 por ciento utilizando pellets combustibles hechos con bagazo previamente secado y densificado.

Otra manera de visualizar la mejora de las características del nuevo combustible se tiene al comparar la equivalencia del valor térmico de una tonelada de bagazo húmedo y sin densificar que es en cifras redondas equivalente al de un barril de combustóleo # 6; mientras que una tonelada de pellets combustibles, equivalen aproximadamente a 2.5 barriles de combustóleo # 6.

#### 4.4 Condiciones necesarias en un ingenio azucarero.

Para la implementación a nivel industrial de una planta procesadora de pellets combustibles dentro de un ingenio azucarero, se requiere de condiciones adecuadas en sus instalaciones, como son:

- 1) Ofrecer continuidad en el suministro de bagazo a la planta pelletizadora.
- 2) Deberá tener un balance termoenergético aceptable, para producir excedentes de bagazo.
- 3) Deberá ser capaz de generar energía excedente sobre sus propias necesidades.

- 4) Sus calderas deben ser capaces de quemar pellets combustibles, o requerir de un mínimo cambio en su diseño original, para minimizar la inversión.
  - 5) Debe contarse con espacio suficiente dentro del ingenio y preferentemente cerca de la caldera para ubicar la planta peletizadora y equipos de almacenamiento para el nuevo combustible.
- 4.5 Ventajas y desventajas de la instalación de una planta peletizadora.

Ventajas:

- 1.- Existe disponibilidad de materia prima barata.
- 2.- Se tiene vapor disponible y a bajo costo para ayudar al proceso de peletizado, sin requerir de un equipo adicional: generador de vapor, exclusivo para el peletizado. La operación puede realizarse en la época de zafra normal.
- 3.- Es posible contar con el calor necesario para secar el bagazo si se usan los gases de escape de las calderas.
- 4.- Si los pellets son necesarios para sustituir al combustible normalmente usado, se tendrán disponibles en el mismo lugar, eliminando todos los costos de manejo y transporte.

Desventajas:

- 1.- Que el suministro de bagazo desde los molinos sea en forma discontinua y la planta peletizadora tenga que ser diseñada para aceptar esas interrupciones.
- 2.- Al utilizar los gases de escape para secar el bagazo, se tiene el problema del manejo de grandes volúmenes e insuficiente

temperatura.

- 3.- Se debe cuidar que el uso de los gases de escape no afecte la operación de la caldera.
- 4.- Cuando la temperatura de los gases de escape sea baja, se requieran secadores para el bagazo de grandes dimensiones, o diseños especiales.
- 5.- Necesidad de sofisticados equipos de control, cuando las condiciones sean extremas.

#### 4.6 Diagrama de flujo de una planta convencional y de una de peletizado.

Como se podrá observar en los diagramas; al implementar los pellets como combustibles al proceso de fabricación de azúcar, es como si tuviéramos que introducir una nueva planta o sección en la fábrica, presentando inconvenientes; desde la separación de fibras y de los finos hasta la alimentación de los pellets a la caldera dependiendo de la eficiencia mecánica del molino peletizador.

En el diagrama # 1 se tiene un proceso convencional en el cual se separa parte del bagazo tal y como sale del último paso del molino con una humedad superficial (50 %) y se introduce directamente a la caldera.

En el diagrama # 2 se puede apreciar que surgen nuevas secciones interconectadas al diagrama convencional, las cuales pudieran presentar problemas de espacio para la utilización de los servicios necesarios para el funcionamiento de éstas, como son: bagazo, vapor, gases de escape, aglutinantes y energía eléctrica.

Prácticamente el suministro de los servicios a esta sección queda

resuelto porque se cuenta en la planta con todos los elementos: el vapor lo obtendríamos con una toma en la tubería de alta presión y sería llevada hasta la peletizadora, al igual que la energía eléctrica ya que se dispone de generadores propios para la conexión.

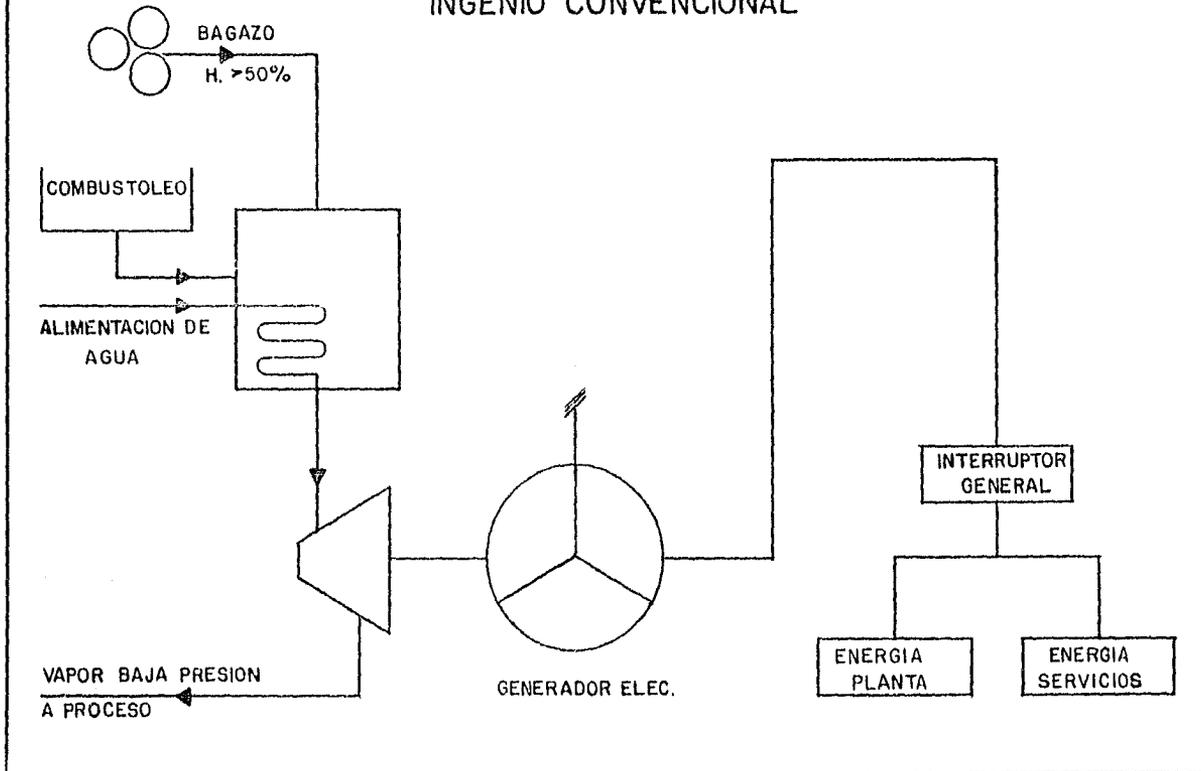
Para el aglutinante, en dado caso de seleccionar uno de los subproductos del proceso de fabricación de azúcar, se cuenta con depósitos de melaza, miel final y vinazas, por lo cual, nos bastaría con bombearlos. El problema se tendría solamente en ubicar esta nueva sección en un sitio donde sea lo menos costoso para la instalación y transporte de los elementos necesarios.

Otra consideración de importancia es que el transporte del bagazo seco (12 % de humedad) se haría con transportadores de banda hasta la planta de peletizado, protegiéndolo del medio ambiente o bien colocarlo cerca de la sección de secado.

Una vez obtenidos los pellets, el siguiente paso a resolver es el transporte y almacenamiento de éstos, tomando las consideraciones para evitar hasta donde sea posible la formación de finos. El almacén tendría que ser lo suficientemente grande para almacenar los excedentes que se utilizarán en tiempos de no zafra.

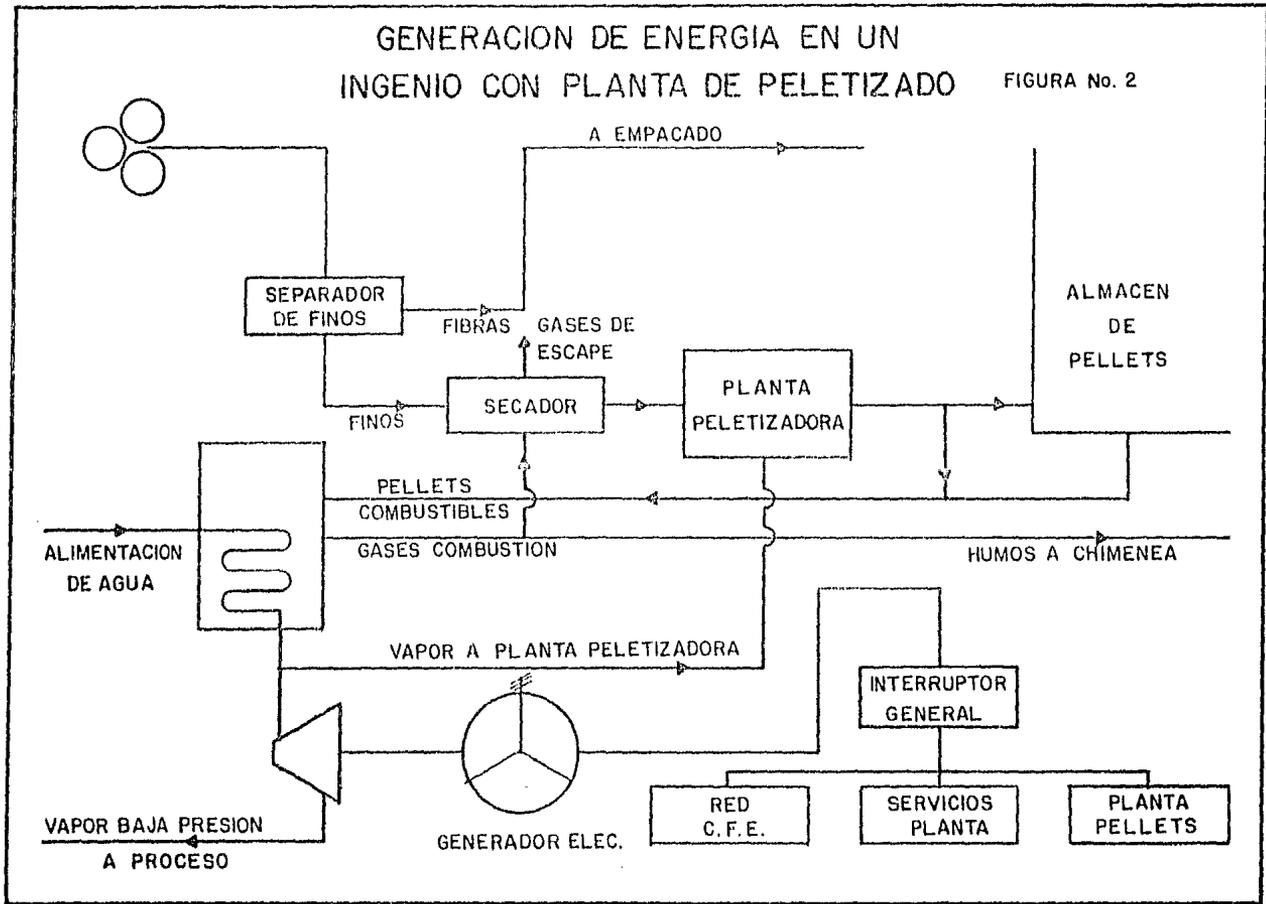
# GENERACION DE ENERGIA EN UN INGENIO CONVENCIONAL

FIGURA No. 1



# GENERACION DE ENERGIA EN UN INGENIO CON PLANTA DE PELETIZADO

FIGURA No. 2



## C A P I T U L O V. INTEGRACION DE UN PROYECTO PILOTO Y ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA DESDE EL INGENIO A LA RED NACIONAL (C.F.E.).

### 5.1 Introducción.

Dentro de las regiones azucareras más cercanas a la ciudad de México, lugar donde fue desarrollado este trabajo, y por su fácil acceso tanto a la información como a sus instalaciones, el ingenio de Oacalco fue propuesto para la integración de un proyecto piloto, en el cual el propósito es adicionar una planta peletizadora de bagazo para utilizarlo como combustible durante los tiempos de no zafra y de reparaciones. Además, se pensó en este ingenio por estar equipado con calderas del tipo mixto y principalmente por la posibilidad de utilizar una máquina peletizadora del ingenio Zacatepec, donde inicialmente se pretendió usar para alimentos balanceados en la planta de forrajes, con poco éxito aparentemente. Por otra parte, Oacalco cuenta con un ritmo de producción de bagazo adecuado para el suministro a la planta peletizadora proyectada, y con un esquema térmico tal, que nos permite tener un excedente de vapor para el proceso de peletizado, y la posibilidad de obtener partículas de bagazo suficientemente finas que no requieren de mucha energía para lograr la peletización.

En este ingenio, los requerimientos de vapor producidos en las calderas durante el tiempo de zafra son primordialmente para alimentar a las turbinas de potencia de los molinos, para los turbogeneradores de la planta eléctrica, y para los procesos de destilación en la fábrica

de alcohol; sin embargo, durante el tiempo de no zafra se reduce la producción de vapor, necesitándose éste solamente para la generación de energía eléctrica y para la destilería.

Con la implantación del proyecto piloto se busca principalmente la sustitución de combustibles fósiles para evitar la dependencia que se tiene de este tipo de energéticos, aprovechando que dentro de la industria azucarera se cuenta con residuos del proceso, que en México no han sido explotados óptimamente. En la medida que se logre la optimización del nuevo combustible los requerimientos de los equipos generadores de vapor no estarán limitados al uso de combustóleo, obteniendo además un ahorro, debido a la diferencia de precios entre estos combustibles y a la eliminación de los gastos de transportación.

#### 5.2 Descripción de la peletizadora con que se contaría.

Para el proyecto piloto se cuenta actualmente en el ingenio de Zacatepec con una máquina peletizadora, que se transportaría a Oacalco desde la planta de forrajes del ingenio, lugar donde inicialmente fue instalada con la finalidad de producir alimentos balanceados a base de médula de caña de azúcar y melaza. Sin embargo, en este sistema no se logró una formación adecuada de pellets debido a que en el mezclado y acondicionamiento no se utilizaron los porcentajes necesarios de los materiales, además de no usar vapor para el control de la temperatura y humedad de la mezcla. Todo esto aunado a un mal ajuste entre el dado y los rodillos, contribuyó a que no se lograra la formación de pellets alimenticios.

Estas fallas en el proceso fueron principalmente causadas por la falta de experiencia y conocimientos sobre el sistema para peletizar,

optando por la suspensión de este método al no obtenerse los resultados esperados.

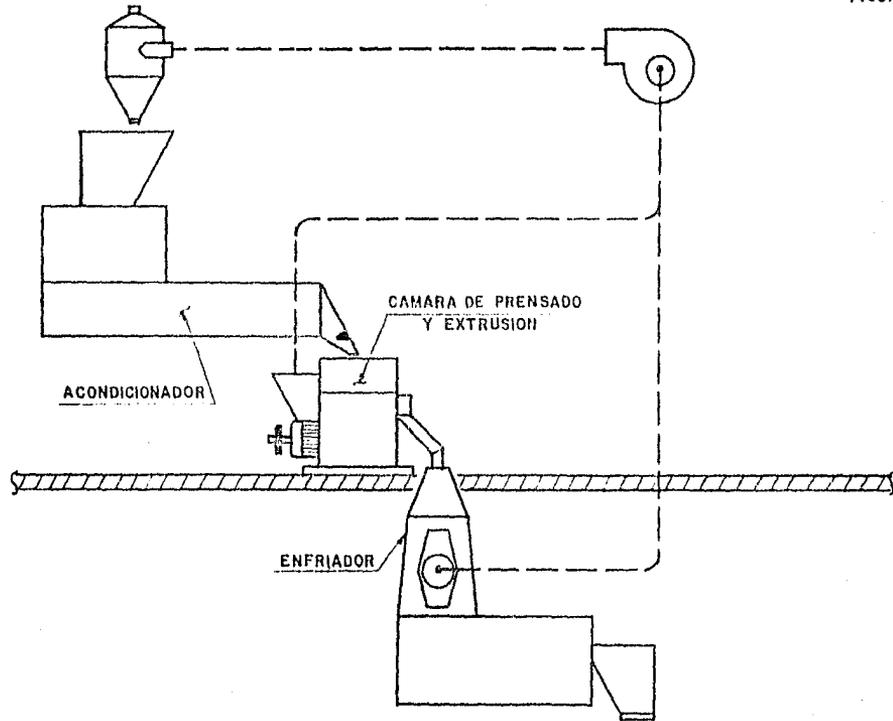
En el proyecto piloto para la formación de pellets combustibles se intenta aprovechar esta máquina gracias al avance y dominio casi total de la técnica del peletizado con que se dispone actualmente, cosa muy importante, ya que, aún en el supuesto caso de que esta máquina no sea la óptima para las condiciones del ingenio, esto se compensará al llevar el material bajo un buen acondicionamiento con la ayuda de vapor, usando un porcentaje de mezcla ideal, además, teniendo mucho cuidado en todos y cada uno de los pasos de este proceso.

En esta máquina peletizadora el producto a prensar es primeramente preparado en un acondicionador helicoidal en donde se le añade vapor (figura 6.1), después entra a la prensa por medio de un dosificador acoplado en la parte superior que distribuye el material uniformemente con un movimiento de giro horizontal con que está dotado.

Esta máquina se caracteriza por tener el dado extrusor y los rodillos prensadores girando ambos horizontalmente y en sentido contrario (figura 6.2), cuenta también con paletas distribuidoras que regulan la cantidad de material para cada uno de los rodillos. De esta forma el material es extruído verticalmente a través de los orificios del dado en rotación, los que por su forma especial dan en la compactación una presión creciente, que permite regular la dureza de los pellets (figura 6.3).

Una vez que la mezcla va siendo extruída y sale por el extremo inferior del dado, es seccionada por unas cuchillas ajustables que dan

FIGURA No. 6.1



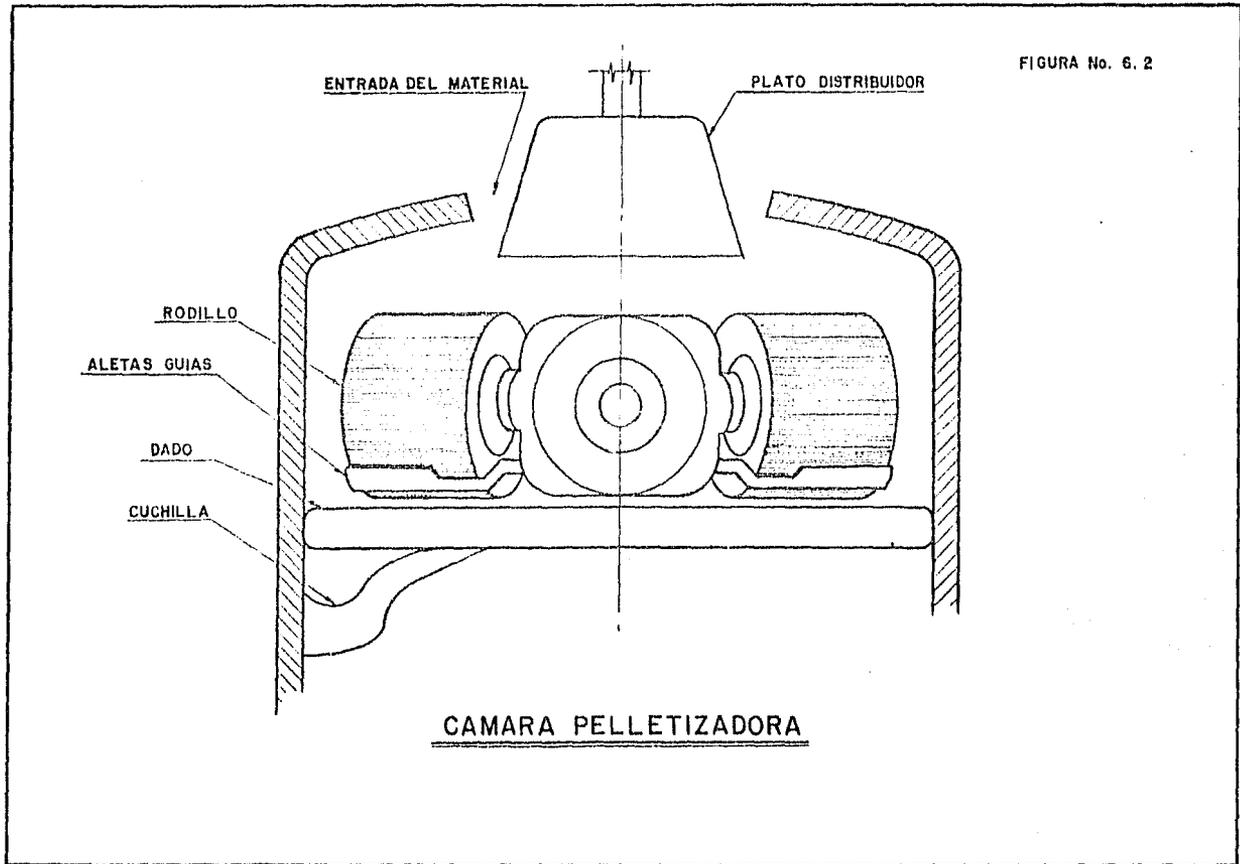
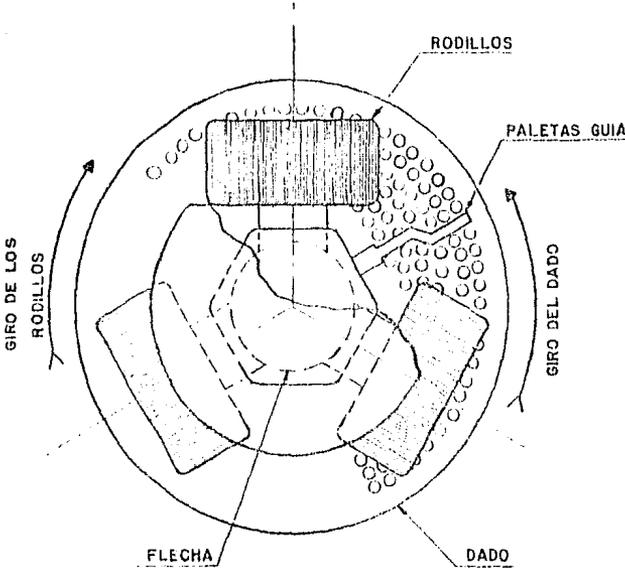
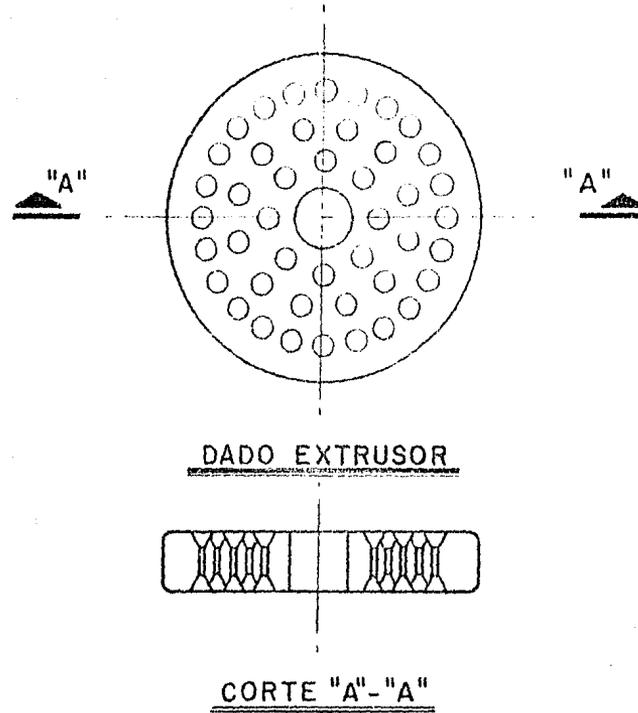


FIGURA No. 6.3



VISTA SUPERIOR

FIGURA No. 8.3



la longitud deseada al pellet. El producto entonces pasa por una criba filtradora que separa los finos generados al caer hacia el enfriador vertical con que dispone esta máquina, estos finos son realimentados al acondicionador por medio de un elevador de cangilones; los pellets por su parte, al ser enfriados, pierden humedad quedando entre un rango del 12 al 15 %.

La potencia de trabajo es suministrada por un motor de 120 H.P. que se acopla al mecanismo de accionamiento del dado y rodillos por medio de bandas trapezoidales y a través de un reductor de velocidades.

### 5.3 Equipo actualmente instalado.

Las ventajas que se tienen al contar con los equipos de mayor importancia para el desarrollo del proyecto piloto en el ingenio Oacalco, son principalmente: el no requerir de una fuerte inversión inicial en la compra de estos equipos, además de no necesitar de modificaciones considerables tanto en los equipos como en nuevas instalaciones para la implementación del proceso.

Este ingenio trabaja con un ciclo Rankine abierto en donde se tiene como equipo generador de vapor a cuatro calderas tipo mixto que pueden operar con combustóleo y bagazo simultáneamente, o en su caso utilizar solamente combustóleo. La forma como se quema el bagazo es por medio de hornos, mientras que el combustóleo se suministra a través de inyectores de tobera, estas calderas quedan clasificadas dentro de las de tubo de agua. También se cuenta con dos calderas más que queman únicamente combustóleo, siendo del tipo de tubos de agua.

Parte del vapor generado en estas calderas alimenta a dos turbogeo-

neradores de baja presión con que cuenta el ingenio, y el vapor restante se utiliza en turbinas de potencia para el molino y requerimientos del proceso.

Por su parte, como equipo existente para aprovechar el bagazo según la finalidad de este proyecto, se tiene una peletizadora dotada de acondicionador o mezclador y enfriador de pellets.

Se requerirá un desmedulador para proveer a la peletizadora con material de tamaño adecuado a sus requerimientos, el cual lo instalaría la firma papelera que actualmente compra el bagazo.

Otro equipo de consideración es un secador de médula que utiliza combustible líquido para la deshumidificación de ésta. Paralelamente a este trabajo se lleva a cabo otro estudio sobre el secado de médula, con el aprovechamiento de gases de escape de las calderas utilizando el principio de "lecho fluidizado", buscando eliminar el consumo de combustible en esta etapa y obtener un producto seco hasta el 12 % de humedad. Ref: "Aprovechamiento integral de los derivados de la caña de azúcar, con fines: energético pecuario e industrial".

Dentro de las instalaciones faltantes necesarias para el acoplamiento entre la planta de peletizado y el ingenio, éstas consistirán básicamente de un transportador que va desde el secador a la tolva de alimentación de la peletizadora, silos para almacenar los pellets producidos, un transportador desde los silos a las calderas y líneas de conducción para: gases de escape, vapor, vinazas o melazas, etc.

#### 5.4 Ritmos de producción.

Con el fin de poder visualizar y cuantificar la diferencia que ha-

brá de existir al implementar el nuevo proceso, resumiremos a continuación los datos que afectarán en mayor forma el ciclo que se pretende modificar.

Esta información además ayudará a determinar cuáles son los parámetros que tendrán que modificarse y cuáles controlar más cuidadosamente para el nuevo proyecto, tomando en cuenta la variación entre zafras de los ritmos de producción, como se puede observar en la siguiente tabla:

ZAFRA (Años)	PRODUCCION DE CAÑA (Toneladas)
1982-1983	269,000
1983-1984	270,000
1984-1985	300,806

Basándonos en estos datos, consideraremos una producción mínima de caña de azúcar de 250,000 toneladas, la cual después de pasar por el proceso de extracción, nos dá un total de 70,250 toneladas de bagazo con 52-55 % de humedad. De esta cantidad, la parte útil para el proyecto, es decir la médula, es de 21,075 toneladas, con humedad de 58-60 %, y al secarla hasta 12 % se obtiene un total de 4,215 toneladas, obteniéndose además 29,372 toneladas de fibra con un 50 % de humedad y que es destinada para la fabricación de papel.

Producción de melaza: Tomando en cuenta la cantidad de 250,000 toneladas de caña por zafra se tiene un promedio de 11,250 toneladas de melaza.

Producción de vinaza: De la fábrica de alcohol del ingenio Oacalco

se obtienen vinazas como producto residual en un promedio de 20,400 m<sup>3</sup> durante la zafra.

Producción de vapor: La producción actual de vapor es realizada a través de dos calderas que queman únicamente combustóleo, y que trabajando con una eficiencia de 70 % logran un total de 90 ton/hr de vapor sobrecalentado a una presión de 12.06 bares y 240° C. La producción total de vapor es destinada para: la generación de energía eléctrica (44 %), para turbinas de potencia del molino (14 %), para la fábrica de alcohol (5 %) y para la planta de tratamiento de aguas (1 %), el restante es destinado para las estaciones reductoras.

Consumo de combustible en calderas: Las calderas tienen requerimientos de combustóleo a un ritmo de 78 lt por cada tonelada de caña molida, lo que nos indica que con una producción promedio de 250,000 toneladas de caña molida por zafra se tiene un consumo total de 19,500 m<sup>3</sup> de combustóleo.

#### 5.5 Producción estimada de pellets combustibles.

Contamos con una máquina marca Grando con una potencia nominal de 120 H.P. que tiene una capacidad para peletizar 2,500 Kg/hr de médula de bagazo con 12 % de humedad utilizando en el acondicionamiento, vapor, vinaza concentrada a 70° Brix, y un aglutinante (hidróxido de amonio).

Al producir el ingenio 4,215 toneladas de médula seca y suponiendo un turno de 8 horas diarias de operación de la máquina peletizadora, tendrá una estimación de 20 toneladas diarias de pellets combustibles, lo que significa que se necesitarán 211 días (7 meses) para peletizar la médula producida en la época de zafra.

Suponiendo que la máquina peletizadora trabaje 2 turnos de 8 horas cada uno, se tiene una producción diaria de 40 toneladas del nuevo combustible, llevándose 105 días (3 y medio meses) para lograr el peletizado de la médula seca. Estas producciones requerirán esperar tiempo para el acumulamiento de producción de médula para así poder operar a la máquina de una manera continua.

Podemos observar, que ambas posibilidades de producción logran la peletización de la médula generada, sin embargo esto nos llevaría a trabajar a ritmos discontinuos entre la producción de médula y el peletizado de ésta, requiriéndose de almacenamientos tanto de médula a granel en el tiempo en que no se trabaje la máquina peletizadora, así como de pellets producidos cuando ésta se encuentra en operación. Una posibilidad más es la de trabajar la máquina con programaciones semanales de acuerdo a la producción de bagazo que se logre en el molino; de esta manera, podemos eliminar el almacenamiento de médula a granel, bajando con esto el costo que esto implicaría, necesitando solamente lugar para guardar el combustible ya peletizado, eliminando entre otras cosas el gran riesgo de la combustión espontánea que se tenía.

Esta última opción resulta ser la más recomendable desde el punto de vista tanto económico por la reducción de gastos en equipo de almacenamiento, como también desde el punto de vista del proceso mecánico, debido a que se logrará en poco tiempo el peletizado del material que sale de los molinos, pudiendo así ser manejado más fácilmente.

Capacidad de producción de energía eléctrica: El equipo instalado consta de dos turbogeneradores, uno de 1,000 y otro de 2,000 Kw, para

satisfacer las necesidades propias del ingenio, el cual tiene una demanda máxima de 2,200 Kw en tiempo de zafra, mientras que en los tiempos de reparación sólo es necesario la operación del turbogenerador de 1,000 Kw o bien otra unidad de menor capacidad, debido a que la demanda baja hasta aproximadamente 300 Kw (datos del ingenio).

Sin embargo, considerando las instalaciones de la planta pelletizadora que se anexa al ingenio, se estima una demanda adicional de 310 Kw, la cual cuantificada de la siguiente manera:

	DESMEDULADOR.....	110.3 Kw	
	TRANSPORTADOR.....	1.5 Kw	
	SECADOR.....		100 Kw
650 KG/HR VAPOR 2.5-4 KG/CM <sup>2</sup> 85°C	TRANSPORTADOR.....	0.74 Kw	
	PELETIZADORA.....	89.056 Kw	
	ENFRIADOR.....	0.740 Kw	
	TRANSPORTADOR.....	0.740 Kw	
	SILOS DE ALMACENAMIENTO.....	0.5 Kw	
	TRANSPORTADORAS A CALDERAS....	0.740 Kw	
		210 Kw	310 Kw

Consumo total de energía de la planta peletizadora: 310 Kw considerando la necesidad de utilizar un ventilador adicional al propio de la caldera para el secado de la médula, Si este proceso es llevado a cabo durante el tiempo de zafra, la demanda de energía sería de aproximadamente 2,500 Kw, que fácilmente podría ser cubierta, debido a que durante este tiempo se tiene en funcionamiento normalmente a los dos turbogeneradores que, juntos, logran una capacidad de generación de 3,000 Kw, es decir, que no sería un aumento considerable. Por otro lado, al peletizar en tiempo de reparación, el aumento en el consumo de energía sería de 300 a 510 Kw, resultando un incremento significativo para ser cercano al 100 % del consumo original, y teniéndose además una gran repercusión debido a que de la energía producida, aproximadamente la mitad sería para la propia planta peletizadora, motivo por el cual se descarta esta opción.

Bajo este planteamiento vemos la conveniencia de producir los pellets combustibles durante el tiempo de operación del ingenio, por las ventajas mencionadas y por afectar en menor grado que haciéndolos en tiempo de reparaciones.

#### 5.6 Producción estimada de energía.

El principal propósito de este proyecto es cubrir la demanda de energía que el ingenio tiene en tiempos de reparación, que es de aproximadamente 300 Kw, dado que se suministra electricidad para algunos pozos profundos, para las labores de reparación en la fábrica, y para la destilería de alcohol, para lo cual, se propone el uso de una caldera mixta con capacidad de producción de 9 toneladas por hora de vapor sobrecalen-

tado a 12.06 bares y 240° C., (Existente).

La cantidad de vapor demandada por el turbogenerador para la producción de 300 Kw es de 5,448 Kg/hr basándonos en que por cada Kw generado se necesitan 18.16 Kg/hr de vapor. Por otra parte, el consumo de combustible en la caldera se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$M_c = \frac{M_v (h_b - h_a)}{P.C.S. (NC)} \quad \text{-----} \quad (6.1)$$

$$M_c = \frac{5.45 (2,912.1 - 85.067)}{16,760.6 \times 0.7}$$

$$M_c = 1.148 \text{ Ton/hr de pellets combustibles}$$

Donde:

$M_c$  = Masa de combustible (Ton/hr)

$M_v$  = Masa de vapor (Ton/hr)

$h_b$  = Entalpía del vapor sobrecalentado (KJ/Kg)

$h_a$  = Entalpía del agua de alimentación a la caldera (KJ/Kg)

P.C.S. = Poder calorífico superior del nuevo combustible (KJ/Kg)

$N_c$  = Eficiencia de la caldera

Con este ritmo de consumo de combustible, la cantidad de pellets producidos en la zafra nos alcanzarían para poder alimentar la caldera durante un tiempo aproximado de 20 semanas que es cercano al que está programado para hacer las reparaciones en el ingenio, el cual consta de 22 semanas. Este tiempo se determinó mediante la siguiente relación:

$$T_c = \frac{P_a}{C_c} \quad \text{-----} \quad (6.2)$$

$$T_c = \frac{4,215 \text{ Ton}}{1.3 \text{ Ton/hr}} = 3,669.51 \text{ hr}$$

$$T_c = 5.09 \text{ meses}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de consumo del combustible almacenado (meses)

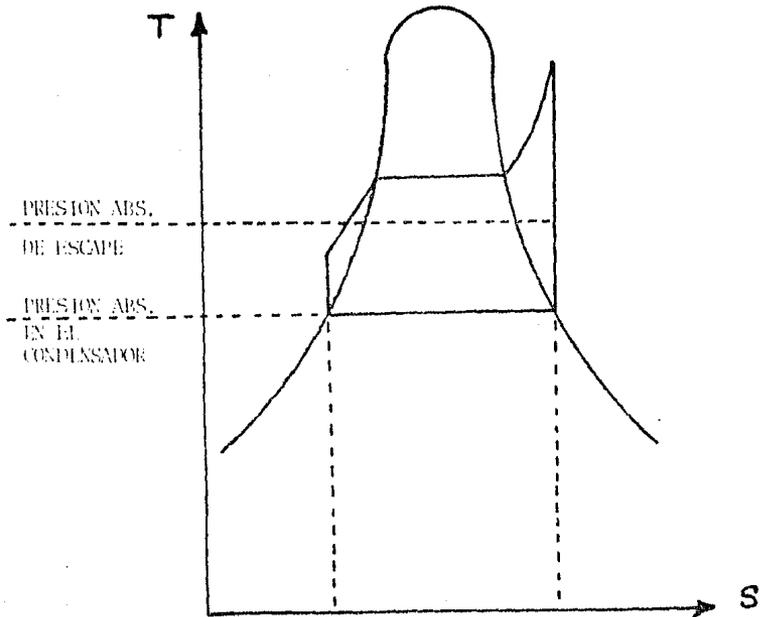
$P_a$  = Pellets almacenados durante la zafra (Ton)

$C_c$  = Consumo de combustible en la caldera (Ton/hr)

En realidad, se espera poder cubrir las necesidades energéticas del tiempo de reparación, ya que la estimación anterior se hizo a base de una producción mínima de caña de azúcar para abastecer al ingenio la cual, por otro lado, ha presentado durante las últimas zafras, incrementos de tal manera que en el último ciclo de molienda se procesaron 300,806 toneladas de caña en lugar de las 250,000 toneladas que se tomaron como base para estimar la producción de pellets combustibles.

Oacalco es uno de los ingenios que en su principio fue diseñado solamente para satisfacer sus necesidades propias de energía, quedando dentro de la generalidad, en los que no se buscaba maximizar el potencial energético que puede ser desarrollado con el bagazo de la caña de azúcar. Para lograr esta optimización se hacen necesarios algunos cambios tecnológicos dentro de los equipos que comúnmente son usados. De éstos, el más importante y más frecuente es el cambio de turbogeneradores de baja presión, por otros que sean del tipo de condensación/extracción, ya que con este tipo de turbogeneradores se puede obtener una cantidad de energía considerablemente mayor a partir de un determinado peso de bagazo, como se puede ver en la figura.

DIAGRAMA T-S



Además otra ventaja que se tiene con el uso de turbinas de condensación, es el obtener un ahorro en los costos de agua tratada, porque se reduce el gasto de ésta al trabajar con un ciclo cerrado.

En la actualidad Oacalco tiene la posibilidad de agregar a su equipo instalado una turbina de condensación/extracción, acoplado a un generador de aproximadamente 500 Kw, que para el proyecto piloto será de gran utilidad ya que, ayudará a maximizar el aprovechamiento de la energía al aunarse a las ventajas del nuevo combustible peletizado.

Otros cambios tecnológicos en los equipos instalados que nos ayudarán a lograr la optimización buscada, serían:

- 1.- Trabajar con vapor a presiones y temperaturas más altas.
  - 2.- Utilizar turbogeneradores de condensación con extracción a proceso.
  - 3.- Buscar un ahorro en el consumo de vapor dentro del proceso.
- 5.7 Alternativas de suministro de energía eléctrica a la red nacional (C.F.E).

El ingenio Oacalco tiene actualmente una capacidad instalada total aprovechable para la producción de energía, de 4,000 Kw, aunque uno de los turbogeneradores de 1,000 Kw está desmantelado.

Por otra parte, podemos producir combustible a lo largo de un año con dos turnos diarios de 8 horas en una cantidad aproximada de 14,400 toneladas, las cuales nos harían posible suministrar 3.33 Ton/hr de pellets combustibles a una caldera en un lapso de 6 meses (esto se puede ver en la ecuación 5.2). Si dicha caldera opera con una eficiencia del 70 %, generaría aproximadamente 16 toneladas por hora de vapor (esto

se puede determinar a partir de la ecuación 5.1). El cual nos daría una generación de 881.05 Kw, teniendo como excedente 580 Kw en forma aproximada. Sin embargo, el principal problema para generar energía excedente consiste en la producción de médula que el ingenio alcanza a dar, lo cual satisface la demanda propia de energía en tiempo de reparación y si acaso unos días más, con lo cual el suministro de energía excedente está limitada por la producción de médula.

Por otra parte, para generar 3,000 Kw, se requerirán, además de una cantidad mucho mayor de médula, una capacidad instalada en equipo peletizador del orden de 3.5 veces la actual.

Todo lo anterior nos lleva a pensar en la posibilidad de obtener médula de otros ingenios y/o la instalación de otras peletizadoras, para que la alternativa de vender energía excedente se pueda dar en el ingenio Oacalco.

## CONCLUSIONES

La mayoría de los ingenios han tenido que enfrentarse al gran problema que provocan los desechos del proceso de la extracción de azúcar a partir de la caña, incinerando el exceso de bagazo únicamente con la finalidad de reducir las pilas de almacenamiento para que no ocupen mucho espacio, y para evitar el peligro de la combustión espontánea que presenta al ser almacenado a granel. Sin embargo, aún cuando se tiene la fortuna de contar con un combustible gratis, no ha sido explotada eficientemente toda su potencialidad energética, teniéndose como principales motivos el que no se haya encontrado una forma estable para mantener el bagazo de tal manera que no se deteriore con el tiempo, no ocupe mucho espacio y que sea recuperable. El peletizado, que implica el secado y la densificación del bagazo, tiene la respuesta a estos principales problemas, ya que al encontrarse bajo esta forma se puede tener almacenado el bagazo por mucho tiempo, con muy poco deterioro. Además de obtenerse un combustible de mayor poder calorífico, ya que, el contenido de humedad es abatido, ayudando también a lograr una combustión completa dentro de los hogares de la caldera. Otra ventaja que se logra al peletizar el bagazo es que se obtiene por separado la médula y la fibra, la cual se seguirá vendiendo a la compañía papelera que la demanda pero ahora como una materia prima más depurada, y a un mayor costo.

Este trabajo dentro de sus objetivos principales está el lograr la peletización de la médula del bagazo, para lo cual el proceso fue detenidamente observado, apoyándonos en los puntos de vista y la expe-

riencia de los productores de alimentos balanceados que trabajan con el mismo proceso. Podemos concluir que para lograr una peletización exitosa, los factores que influyen en mayor grado son:

- a) El tamaño de la médula, ya que al trabajar con partículas pequeñas se afectará directamente al ritmo de producción de pellets, a la potencia requerida en el motor principal y a la vida útil del dado y rodillos por la disminución de la abrasión.
- b) El acondicionamiento adecuado que nos permita conservar en lo posible el poder calorífico del bagazo seco, y al mismo tiempo lograr un pellet de suficiente consistencia, todo esto a base de una formación óptima de los ingredientes.

La vinaza como aglutinante en los pellets es propuesto por ser un subproducto que no tiene utilización actual, y de acuerdo a las pruebas realizadas, al llevarla a 70° Brix se comportó de manera semejante a la melaza, que es el aglutinante generalmente usado para peletizar: en consecuencia, la vinaza es apta para esta operación siempre y cuando no se requiera una gran inversión en equipo, accesorios y energía para alcanzar una concentración de sólidos de 70° Brix.

Una vez logrado el peletizado, se pudo comprobar la estabilidad y consistencia del material bajo esta forma, mediante pruebas de resistencia al aplastamiento en una máquina universal para pruebas mecánicas, de lo cual derivamos que en el manejo y almacenamiento de los pellets no se presentarán pérdidas del material debidas a la desintegración de éstos.

Otra observación sobre los pellets fue hecha al practicárseles

pruebas de quemado donde se llegó a la conclusión de que es posible lograr la combustión completa del material si se suministra el exceso de aire adecuado al grado de compactación que tiene el pellet, esto es, que un pellet entre más densificado esté, requerirá mayor cantidad de aire.

El estudio teórico en este trabajo con el fin de establecer las condiciones necesarias que nos lleven a maximizar el potencial energético del bagazo como combustible, tiene mucha probabilidad de ser llevado a la práctica en forma exitosa debido a los pocos cambios que se requieren en los equipos e instalaciones con los que actualmente cuenta el ingenio Oacalco, además de que la inversión que supone el completar la planta peletizadora, se amortizará en poco tiempo porque se estará sustituyendo a un combustible fósil en vías de extinción.

## B I B L I O G R A F I A

### CAPITULOS

- I           ENERGETICOS Y DESARROLLO TECNOLOGICO  
AUTOR: MANUEL POLO ENCINAS  
EDITORIAL: LIMUSA
- I           FUEL FOR 1980'S  
AUTOR: TERRY, M.C.
- I           FISIOLOGIA DE LA CAÑA DE AZUCAR  
C.N.I.A., División Técnica IMPA No.6 1976  
CANARGO P.N.
- I           MEJORAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES  
UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA  
Tesis Profesional (Facultad de Ingenieria UNAM)
- I           INDUSTRIALIZACION DE LOS SUBPRODUCTOS DEL AZUCAR  
Tesis Profesional (Facultad de Ingeniería UNAM-1974)
- I           BIOMASA, SIMPOSIUM ON BIOTECHNOLOGY IN ENERGY  
Publication 1981
- I           (F.I.R.A.) REVISTA DEL FIDEICOMISO INSTITUIDO EN  
RELACION CON LA AGRICULTURA  
Volúmen XVI 30 de marzo de 1984
- I           SUGAR Y AZUCAR  
Revistas, Febrero de 1979 y octubre de 1981  
D.S. Cust.
- I           BIOCOMBUSTIBLE S.C.M.  
E.E. Robertson/Traducida por Ph.Chaurole

## CAPITULOS

- I                    TECHNICS IN THE BIOLOGY OF FUNDAMENTS  
Hollander, Alexander 1981
- I, IV                ENERGY FROM BIOMASSA AND WHASTES SIMPOSIUM  
Publication for Inst. of Gas 1978
- I, IV                DETERMINACION DE HUMEDAD EN COMPUESTO DE BAGASO DE  
CAÑA DE AZUCAR.  
Norma Oficial mexicana D.G.N.
- II                    EL PROCESO DE PELETIZAR  
Manual de ALBAMEX  
Richard H. Leaner, P.E.  
Product Sales Manager  
Pelleting Division Spront-Waldron/Kopper  
M. Uncy, P.A. U.S.A.
- II                    EVALUATION OF PELLETING INDUSTRIAL  
Boletín Tecnico Sproot Waldron
- II                    PELLETING BRIQUETING  
Folleto Matador 30, 1985
- II                    THE DRY REXTRUSION PROCESS  
Folleto Insta Pro
- II, IV, V            PELLETING BAGASSE FOR FUEL  
By P.E. Bouvet  
Hilo, Hawaii, March 18-20 1980
- II, IV                PUBLICACION BIO-SOLAR CORPORATION  
Combustion Wodex

## CAPITULOS

- II, IV PELETIZACION Y USO RACIONAL DE LA ENERGIA BIOMASICA  
EN LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR.  
Seminario Latinoamericano de Bioenergía  
Por Dr. Norland, L. C.  
Suzor A.F.M.E. Francia 1983
- II, IV y/o V LA PLANTA DE SECADO Y DESINSIFICACION DE BAGAZO DE  
DE LA EMPREZA AZUCARERA  
Thco Davies  
Publicacion, Hama Kua de Hawaii
- II,V PRENSAS PARA LA PRODUCCION DE GRANULOS DE PIENSO  
Folleto Amandos Kahl Nachf.
- V ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS  
Autor: E.H. Severns  
H.E. Degler  
Capítulo No. VI  
Editorial: Reverte S.A. - 1980