

207  
91  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MEJORAS EN EL APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LOS  
COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
**P R E S E N T A N**  
ALFREDO QUECHA RIVERA  
ALFREDO SINCHES AMORIN  
DAVID TEODORO LOPEZ OJEDA  
HECTOR MORALES ANGELES  
NOE CARLOS NAVARRO CORONA  
RAUL OMAR ALVA TOLEDO  
VICTOR MANUEL VILLALOBOS OLIVER

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

### PROLOGO

### CAPITULO 1

#### INTRODUCCION

- 1.1) Limpieza de la caña.
- 1.2) Colchón de caña estable
- 1.3) Control de la maceración.
- 1.4) Excesivo lavado en los molinos.
- 1.5) Arrastre de aceite con jugo y/o vapor.
- 1.6) Parada de molliendas.
- 1.7) Presión de vapor generado utilizado.
- 1.8) Tratamiento de agua de alimentación.
- 1.9) Aprovechamiento del calor de las purgas.
- 1.10) Acumuladores de vapor.
- 1.11) Alimentación regulada de bagazo a los hornos.
- 1.12) Incremento de la eficiencia térmica de las calderas.

- 1.13) Aislamientos térmicos inadecuados.
- 1.14) Continuidad en el flujo de materiales.
- 1.15) Recuperación de condensados.
- 1.16) Diseño Tanque flash en clarificadores.
- 1.17) Vapor de relleno a tachos.
- 1.18) Experimentaciones prometedoras a futuro.
  - 1.18.1) Utilización del jugo mezclado como elemento de condensación.
  - 1.18.2) Transformación de bagazo en blocks de energía refinada.

## CAPITULO 2 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE COMBUSTIBLES CON USO POTENCIAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

- 2.1) Bagazo de caña.
  - 2.1.1) Origen
    - 2.1.1.1) Fisiología de la caña.
    - 2.1.1.2) Cultivo y cosecha de la caña.
  - 2.1.2) Suministros
  - 2.1.3) Composición físico-química del bagazo.
    - 2.1.3.1) Composición física.
    - 2.1.3.2) Composición química.
  - 2.1.4) Almacenamiento y conservación.
  - 2.1.5) Poder calorífico.
  - 2.1.6) Efecto de la humedad en el bagazo.
  - 2.1.7) Relación, dependencia, ventajas y desventajas con otros combustibles.

2.1.7.1) Equivalencia con otros combustibles.

2.2) Combustóleo

2.2.1) Composición físico-química

2.2.2) Poder calorífico

2.2.3) Almacenamiento y distribución

2.2.4) Ventajas y desventajas en su utilización.

2.2.4.1) Ventajas

2.2.4.2) Desventajas

2.3) Gas natural

2.3.1) Origen

2.3.2) Características físico-químicas

2.3.3) Sistema de distribución y control.

2.3.4) Poder calorífico

2.3.5) Equivalencia con otros combustibles.

2.4) Cachaza

2.4.1) Composición físico-química

2.4.2) Origen dentro del proceso.

2.4.3) Posibilidad de utilización

2.4.3.1) Antecedentes

2.4.3.2) Efecto de la humedad

2.4.3.3) Demanda energética

2.5) Vinazas

2.5.1) Composición físico-química

2.5.2) Origen dentro del proceso

- 2.5.3) Posibilidad de utilización
- 2.5.4) Antecedentes
- 2.5.5) Quemado de vinazas
- 2.5.6) Perspectivas de aplicación

**CAPITULO 3 ESTUDIOS DE ALGUNOS ESQUEMAS TENDIENTES A LA OPTIMIZACION EN EL USO DE LOS COMBUSTIBLES.**

- 3.1) Secado del bagazo
  - 3.1.1) Antecedentes de aplicación
  - 3.1.2) Demanda y fuente energética
  - 3.1.3) Opiniones encontradas
  - 3.1.4) Secadores
  - 3.1.5) Teoría del Secado
  - 3.1.6) Diseño de un secador rotativo.
    - 3.1.6.1) Carta Psicrométrica.
    - 3.1.6.2) Humedad de los gases de combustión.
    - 3.1.6.3) Gráfica de velocidad de secado.
    - 3.1.6.4) Balance de materia
    - 3.1.6.5) Balance de energía
    - 3.1.6.6) Dimensiones del Secador.
- 3.2) Utilización de gas natural en la industria azucarera.
  - 3.2.1) Generalidades
  - 3.2.2) Antecedentes
  - 3.2.3) Diagrama típico
  - 3.2.4) Tratamiento secundario
  - 3.2.5) Posibilidad de utilización de una turbina de gas.

- 3.2.5.1) Arreglo sugerido
- 3.2.6) Consideraciones prácticas.
  - 3.2.6.1) Suposiciones
  - 3.2.6.2) Pre-estudio de factibilidad.
  - 3.2.6.3) Comentarios adicionales.

#### CAPITULO 4 FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA CON UTILIZACION POTENCIAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

- 4.1) Introducción
- 4.2) Antecedentes
- 4.3) Proyecto de utilización de la energía solar en la industria azucarera.
  - 4.3.1) Secado
    - 4.3.1.1) Número de captadores
    - 4.3.1.2) Area neta de Captación.
    - 4.3.1.3) Temperatura de equilibrio.
    - 4.3.1.4) Temperatura del aire a la salida de los captadores.
    - 4.3.1.5) Gasto másico de aire de los captadores.
    - 4.3.1.6) Cálculo de caída de presión en los ductos.
    - 4.3.1.7) Potencia del ventilador.
- 4.4) Otras aplicaciones.
  - 4.4.1) Destilación de agua.
  - 4.4.2) Cocinas solares
  - 4.4.3) Calentamiento de agua para fines -

domésticos.

4.4.4) Opciones Complementarias.



## P R O L O G O

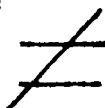
Aprovechar al máximo los combustibles, optimizando su quemado y evitando las pérdidas innecesarias de calor dentro de los procesos industriales, ha sido el objetivo de todos los países, máxime de los subdesarrollados como el nuestro, -- que no obstante contar con fuertes reservas de hidrocarburos, parece estar condenado a la ya histórica dependencia derivada de su vecindaje con los "protectores de las materias primas".

Siendo la agroindustria azucarera, pilar fundamental del desarrollo del país, primero como exportador de casi ----- 600 000 toneladas de azúcar hace ya algunos años y hoy en día, importador de cerca de 800 000 toneladas, es necesario mejorar el aprovechamiento energético de los combustibles por ella utilizados, mediante la racionalización en su uso, evitando pérdidas de energía sobre todo en forma de graves contaminantes atmosféricos arrastrados por los gases de la combustión en la -- chimenea.

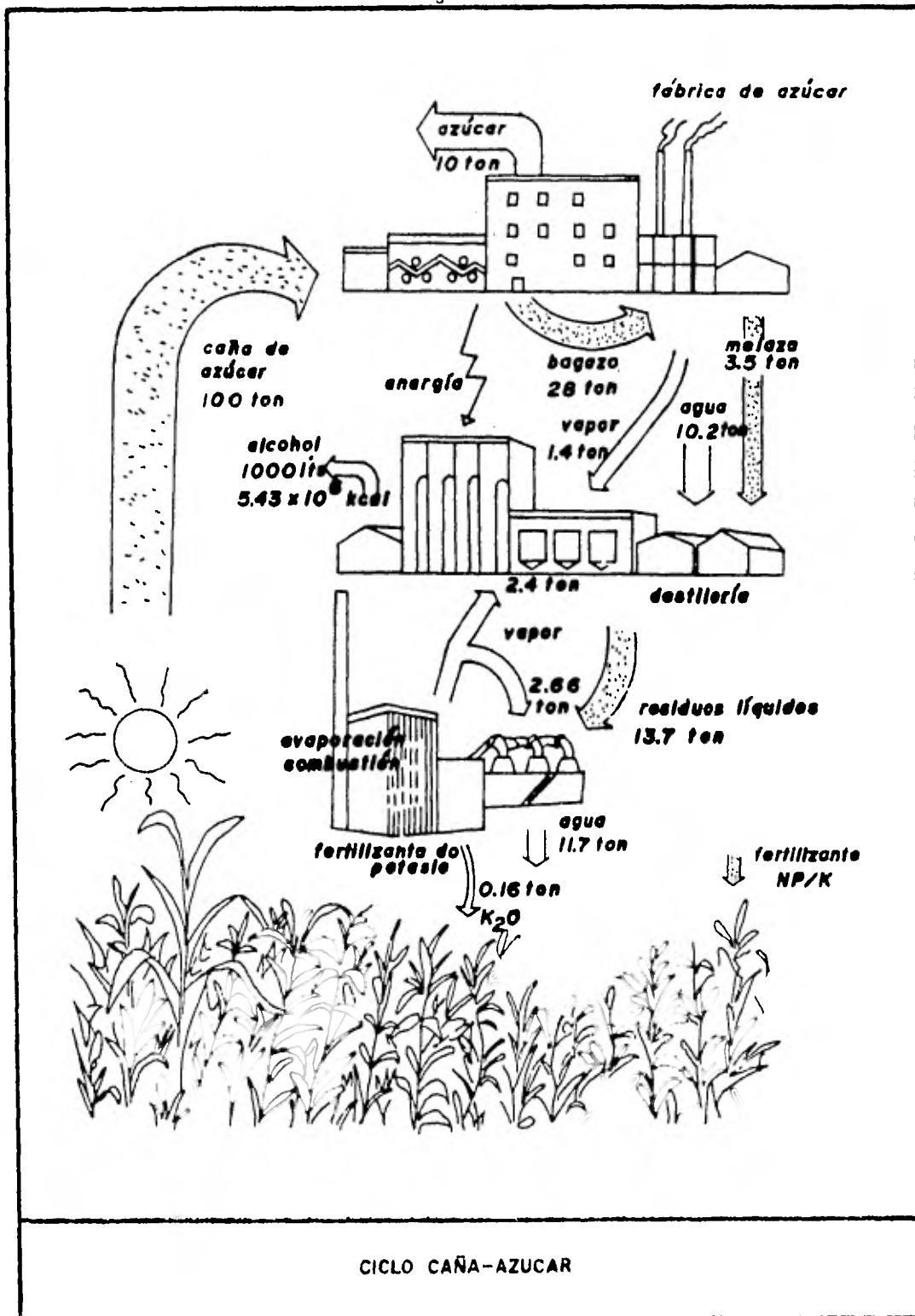
Estamos concientes de que para producir este carbohi drato, es necesario racionalizar el aprovechamiento de los com bustibles requeridos, se ha de considerar el bagazo como reno vable, pero solicitado por otras industrias con materias pri-- mas de no pronta renovabilidad (celulosa y papel), y los hidro carburos (combustóleo y gas), del destino que de ellos haga--- mos, correrá el peligro de empeñar el futuro del país como --- tal. Si nos dejamos embelezar con el canto de las sirenas del norte.

Aunque a mayor plazo, el aprovechamiento de otras -- fuentes de energía (atómica, solar, residuos vegetales, etc.) será la pauta para la subsistencia de la especie humana en es- te convulsionado mundo.

Impidamos con mayor investigación y planteamiento de objetivos nacionalistas la desigualdad:

Exportación de		Importación de
Energéticos		Alimentos
Baratos		Caros

ING. MANUEL ENRIQUEZ POY  
DIRECTOR DEL SEMINARIO  
México, junio 1981.



## C A P I T U L O 1

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

Cuando se analiza un proceso industrial tan complejo como es la obtención de azúcar, salta rápidamente a la vista - el alto grado de pérdidas de energía presentes, debidas mayormente a las siguientes causas.

- a) Nivel de obsolescencia de los equipos.
- b) Escaso nivel de capacitación técnica del personal.
- c) Falta de una adecuada planeación de ingeniería.

Presentamos a continuación algunas recomendaciones - prácticas para mejorar el aprovechamiento energético de los -- combustibles utilizados en la industria azucarera, y que además evita las pérdidas de calor en el proceso.

1.1.- LIMPIEZA DE LA CAÑA.- Moler caña fresca y limpia garantizará agua suficiente y un mejor quemado del bagazo, de esta forma no se introduce a los hornos materia extraña. La tierra, por ejemplo, resta capacidad y eficiencia a los genera

dores de vapor.

1.2.- COLCHON DE CAÑA ESTABLE.- Las fluctuaciones en el colchón de caña provocan picos que se traducen en variaciones de potencia en los primotores. Por este motivo demandan mayor cantidad de vapor y combustible.

La utilización de motores hidráulicos representa la mejor forma de controlar el colchón de caña porque garantiza una alimentación controlada a los molinos, cuando faltan alimentadores individuales a presión.

1.3.- CONTROL DE LA MACERACION.- La falta de dispositivos y equipos para medir el porcentaje de agua de imbibición que se agrega al molino, es la causa de los cuellos de botella que se presentan frecuentemente en evaporación, cuando es necesario evaporar cantidades de agua en exceso.

Se considera también este exceso de agua como serio problema por la humedad final que conserva el bagazo al salir del tandem. A la inversa, la insuficiencia de agua repercutirá en mayores pérdidas de sacarosa, que se quemará en las calderas.

Elevadas extracciones en molino sólo se obtendrán -- con un porcentaje de agua de imbibición alta. Siempre se controlarán en volumen y forma de aplicación.

1.4.- EXCESO DE LAVADO EN MOLINOS.- El abuso de la limpieza de las charolas, causará posteriormente incrementos en el volumen de agua por evaporar. Mismo caso anterior.

1.5.- ARRASTRE DE ACEITE CON JUGO Y/O VAPOR.- El arrastre de aceite con jugo y/o vapor tiene lugar sobre todo cuando se trata de grandes máquinas reciprocantes. Estas máquinas pasan aceite con el vapor expandido que se utilizará después como elemento de calefacción en evaporadores y tachos. El resultado es que se hacen depósitos en el exterior de los tubos que disminuyen el coeficiente de transferencia de calor.

El caso contrario se presenta con el aceite derramado en las charolas de jugo. Entonces el jugo se depositará en el interior de tubos, con el mismo efecto citado con anterioridad.

1.6.- PARADA DE MOLIENDA.- La detención repentina de la molienda es causa de incrementos en el consumo de combustible. Esto se debe a la falta de coordinación de las actividades interdepartamentales entre molinos y calderas, con la fábrica en general.

1.7.- PRESION DE VAPOR GENERADO/UTILIZADO.- Las bajas presiones utilizadas debido al diseño de las unidades generadoras de vapor, imposibilitan aprovechamientos termodinámicos superiores.

La utilización de ciclos escalonados (Generación 600

psig, turbo-alternadores de contrapresión 600-200 psig, molinos y cuchillas 200-15 psig, calentamiento en proceso 15 psig) vendría a incrementar el rendimiento de este nuevo ciclo, representando fuertes ahorros en combustible.

En el diagrama de Mollier, que se muestra en la fig. 1.1, puede observarse el incremento en la diferencia de entalpía que se tendría con este ciclo propuesto.

La línea 1-2 representa una expansión isentrópica -- desde 175 psig. (y 500 °F de sobrecalentamiento), hasta 15 --- psig. Pero, como se trata de un proceso irreversible, la línea de expansión es, en realidad, la definida por los puntos - 1 y 3.

Análogamente, la línea 1' - 2' es la expansión isentrópica de 600 psig, (y 600 °F de sobrecalentamiento) a 15 --- psig; la línea real es la representada por los puntos 1' y 3'.

Los valores de entalpía para ambos procesos son los siguientes:

	PUNTOS 1 y 1'	PUNTOS 3 y 3'	DIFERENCIA
Proceso actual. (175 psig)	1270 BTU/lbm	1090 BTU/lbm	180 BTU/lbm.
Proceso propuesto (600 psig)	1320 BTU/lbm.	1035 BTU/lbm	285 BTU/lbm

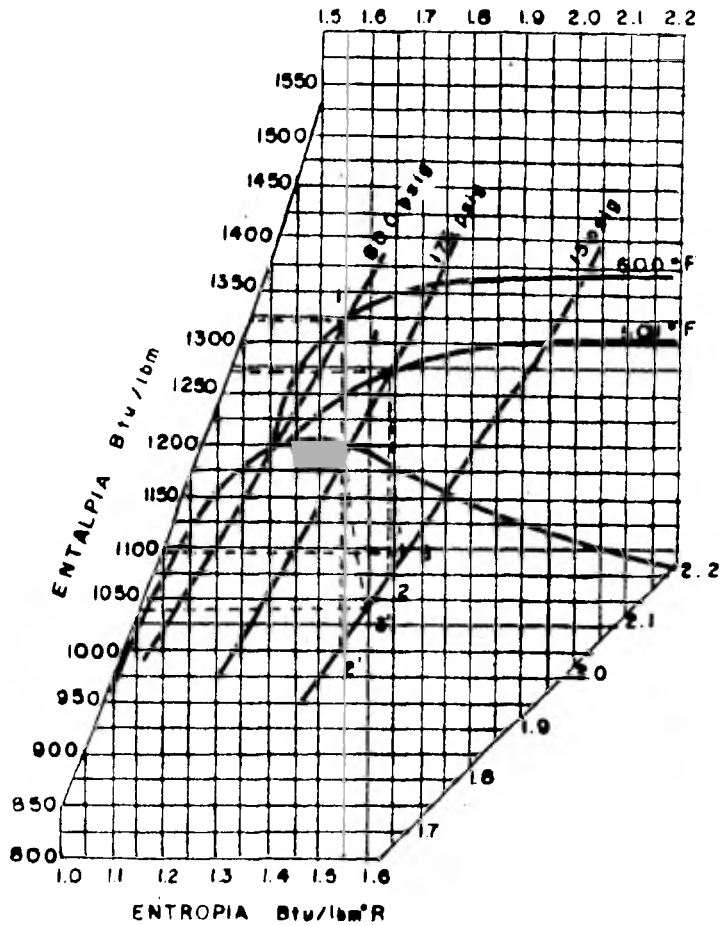


DIAGRAMA DE MOLLIER

Fig. 1.1



1.8.- TRATAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACION.- Con el objeto de disminuir la dureza del agua y las incrustaciones -- posteriores, este elemento deberá ser elemento fundamental de estudio.

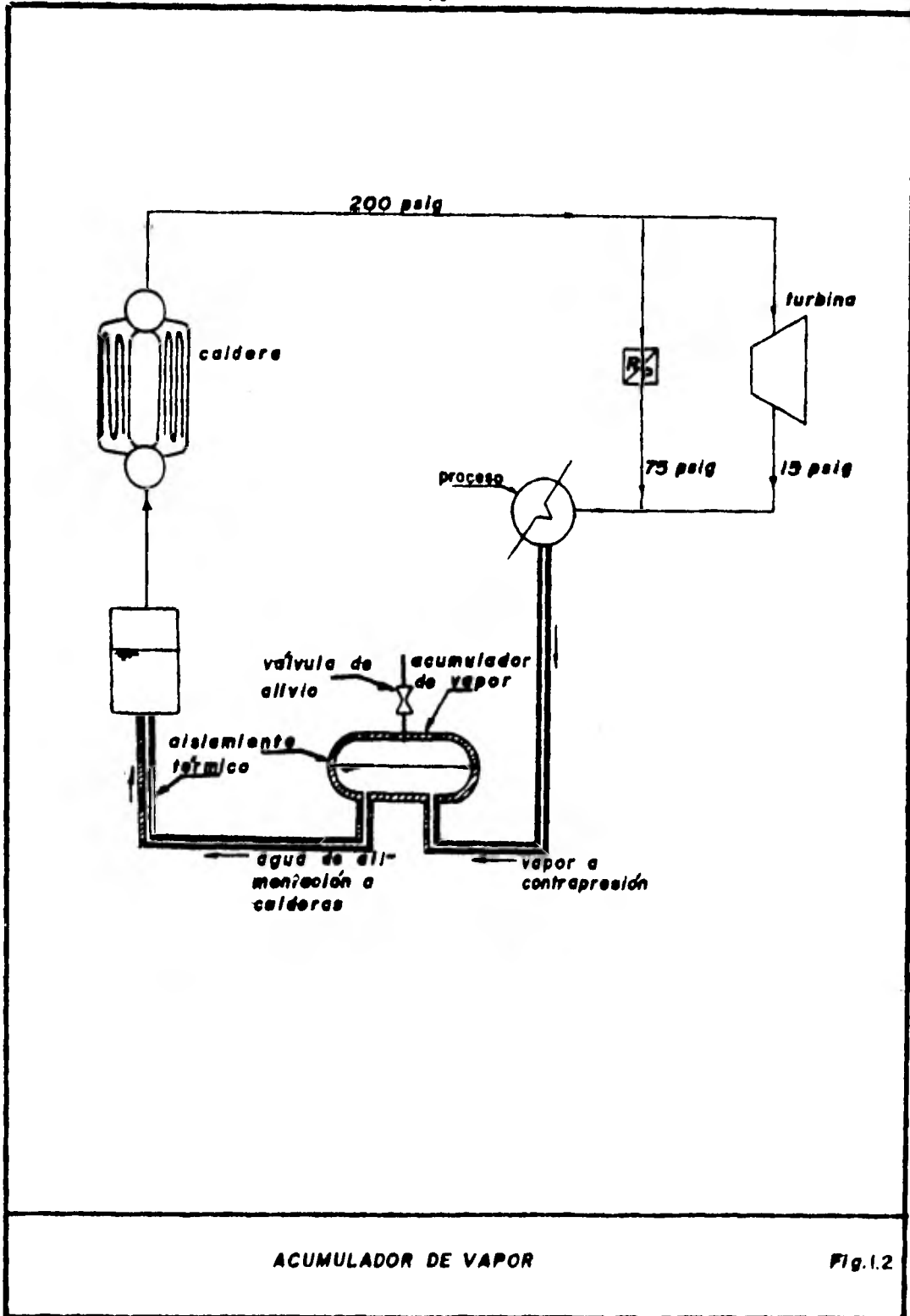
1.9.- APROVECHAMIENTO DEL CALOR DE LAS PURGAS (1.1).- Este calor normalmente se cede al medio ambiente. Puede aprovecharse como elemento de calefacción para incrementar la temperatura del agua de alimentación.

1.10.- ACUMULADORES DE VAPOR.- El excedente de vapor expulsado a la atmósfera por desbalances en fábrica, bien pudiera aprovecharse como agua condensada si se adaptaran viejos domos de calderas existentes (figura 1.2).

1.11.- ALIMENTACION REGULADA DE BAGAZO A LOS HORNOS (1.4).- El sistema propuesto por la firma The Aarell Co. (figura 1.3), resulta interesante, aunque no presenta su evaluación bajo las condiciones locales y la relación beneficio/costo de él obtenida.

A falta de un sistema de control sofisticado, los -- simples alimentadores rotativos deberán ser instalación obligada para optimizar el quemado del bagazo.

1.12.- INCREMENTO DE LA EFICIENCIA TERMICA DE LAS -- CALDERAS.- La instalación de precalentadores de aire y economizadores, aunada a la conservación del refractario, se recomiendan como elementos necesarios para trabajar con elevadas efi--



ciencias.

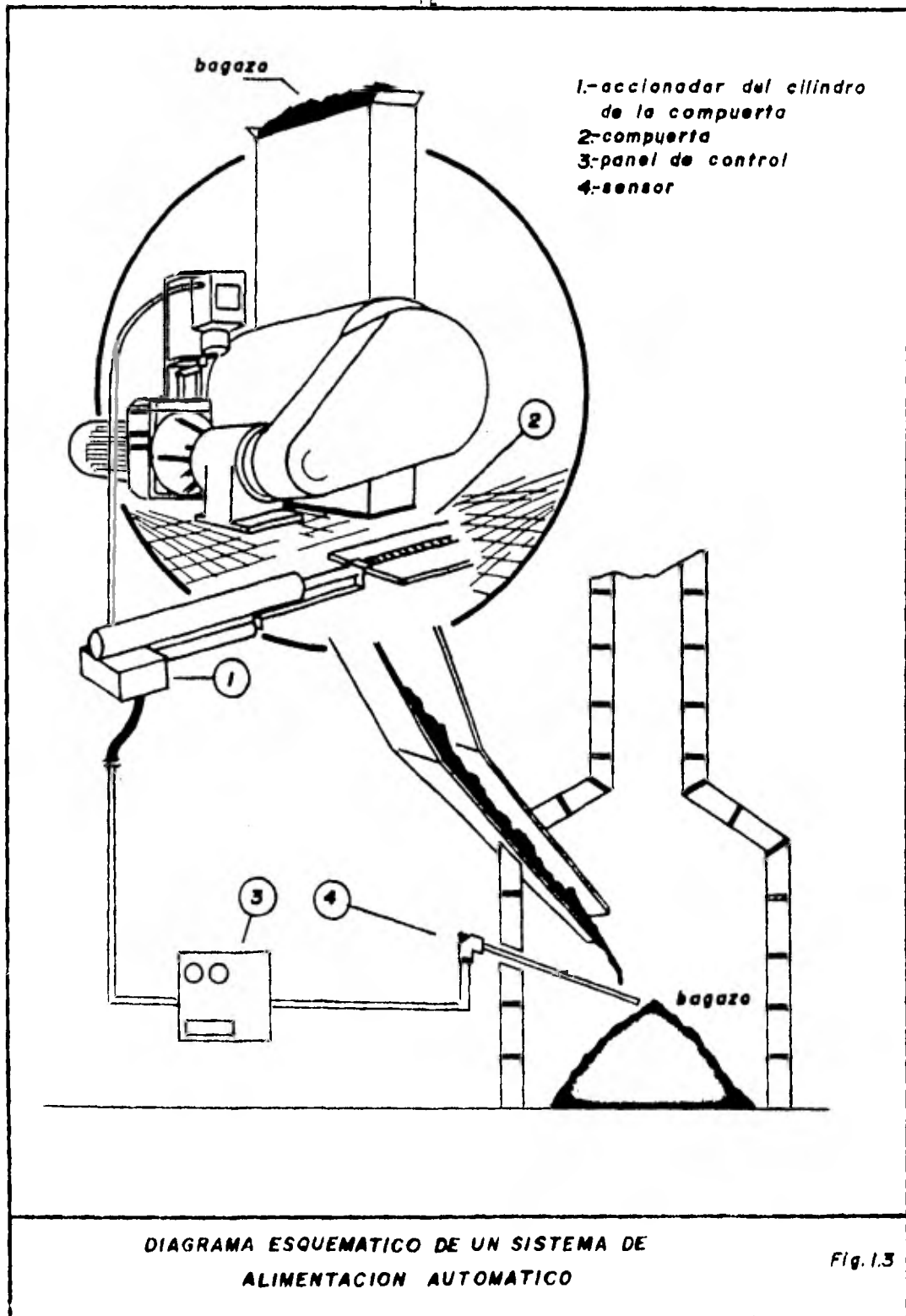
En unidades que queman bagazo, esto no es posible en ocasiones, por la gran cantidad de hollín que sale de los gases y que se deposita en los tubos de estos accesorios.

Queda como posible utilización sujeta a comprobación el SECADO DEL BAGAZO, objetivo medular del estudio de este trabajo.

1.13.- AISLAMIENTOS TERMICOS INADECUADOS.- La gran mayoría de nuestros ingenios adolece de un aislamiento térmico adecuado, lo que se traduce en pérdidas de calor y una mayor demanda de energéticos para su reposición.

1.14.- CONTINUIDAD EN EL FLUJO DE MATERIALES.- El reciclaje de materiales en proceso, restando la tan necesaria continuidad de operaciones, incide muy negativamente en el aprovechamiento del vapor. La composición de las templeas en base a la pureza y concentración de materiales, deberá cuidarse sobremanera. Se debe evitar también un exceso de dilución en las mieles que se procesan.

1.15.- RECUPERACION DE CONDENSADOS.- Una buena utilización de trampas de vapor para extracción de condensados, garantizará el uso eficiente de los equipos de intercambio calorífico y una menor dependencia de calorías para elevar la temperatura del agua que alimenta a calderas.



1.16.- DISEÑO TANQUE FLASH DE CLARIFICADORES.- Un diseño inadecuado del tanque flash traerá como consecuencia las pérdidas excesivas de calor en la autoevaporación y los consiguientes problemas de alimentación de jugo al equipo.

1.17.- VAPOR DE RELLENO A TACHOS.- La falta de una adecuada válvula de control que regule la cantidad de vapor de relleno al proceso, provocará descompensaciones energéticas en el mismo.

1.18.- EXPERIMENTACIONES PROMETEDORAS A FUTURO.-

1.18.1.- UTILIZACION DEL JUGO MEZCLADO COMO ELEMENTO DE CONDENSACION (1.2).- Como opciones a futuro, este arreglo economizaría combustible en cantidades sustanciales.

1.18.2.- TRANSFORMACION DEL BAGAZO EN BLOCKS DE ENERGIA REFINADA.-(1.3).- Se plantea la construcción de una fábrica de 1.5 millones de U.S. DOLARES anexa al ingenio de Honokaa (Hawai, USA) por Theo H. Davies & Co. Bio Solar Research & Development Co. (patentado). Según la cual es posible transformar una tonelada corta de bagazo en combustible equivalente a dos barriles de petróleo, o sea, dos veces más que el valor -- del combustible actualmente obtenido como bagazo.

Por lo tanto, cada ingenio podría producir un equivalente a 210 000 barriles de petróleo, por año.

Finalmente y como colofón, una mayor instrumentación

dentro del proceso ayudará a la optimización general de las -  
operaciones unitarias eslabonadas para la obtención del pro--  
ducto comercial.

NOTA: Se tiene por entendido que los arreglos térmi-  
cos de los equipos en fábrica, representan la  
mayor posibilidad de optimizar el uso de los -  
combustibles.

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

(1.1).- Balznce Hidrotérmico de una fábrica de azúcar crudo.

Tesis Fac. de Ing. UNAM. 1978.

(1.2).- Utilización del jugo de caña mezclado como elemento de condensación.

Tesis, Fac. de Ing. UNAM. 1980.

(1.3).- Brasil. Acuçareiro.

Año XLVIII

Vol. XCVI, Outubro, 1980 - No. 4.

(1.4).- Folleto: The Aarell Co. "ALPHA MODEL 100"

Sistema de control de pila de bagazo, 1980.

## C A P I T U L O II

CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE COMBUSTIBLES  
CON USO POTENCIAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

## 2.1.- BAGAZO DE CAÑA (2.1).

Residuo obtenido después de extraer el jugo a la caña de azúcar.

El término "bagazo" se refiere al material que sale de la última unidad extractora de jugo del sistema. En ocasiones se puede designar así al que sale de alguna otra unidad anterior.

## 2.1.1.- ORIGEN

## 2.1.1.1.- FISIOLOGIA DE LA CAÑA (2.2)

La caña de azúcar es una gramínea gigante de tallo erecto, grueso, cortado por nudos entre los que se hallan yemas alternas cubiertas por hojas anchas.

El tallo puede ser de diversos colores y termina en



una yema de crecimiento que a su tiempo dará origen a una inflorescencia en panícula.

Tiene una raíz en rizoma (es un tallo modificado) de donde brotan raíces adventicias que la sustentan en el suelo.

Existen cinco especies identificadas de caña, que -- son:

- 1.- *Saccharum officinarum*
- 2.- *Saccharum barberi*
- 3.- *Saccharum spontaneum*
- 4.- *Saccharum sinense*
- 5.- *Saccharum robustum*

De estas especies se originan todas las variedades conocidas. La obtención de esas variedades se hace mediante la cruce de híbridos naturales y se les llama híbridos artificiales.

Con estos híbridos se busca obtener mejor resistencia a las enfermedades y plagas, acelerar o retardar el crecimiento, obtener raíces fuertes para mejorar la sustentación, etc.

Existen en el país, un número considerable de variedades obtenidas ya por cruces locales, cuya resistencia a enfermedades tan graves como el carbón y la roya, se ha podido comprobar.

## 2.1.1.2.- CULTIVO Y COSECHA DE LA CAÑA. (2.3).

Las semillas de la caña, en buenas condiciones de temperatura y humedad, germinan en dos días.

Durante la germinación y el desarrollo de la planta, se observan aproximadamente las siguientes fases:

<u>Días</u>	<u>Fase</u>
2°	Nace la raíz primaria
3°	Nace el coleoptillo
7°	Nace la primera hoja, rompiendo el coleoptillo.
10°	Nace la segunda hoja.

La caña se propaga normalmente por estacas o trozos. Se diferencian generalmente dos tipos de estacas:

- a) Estacas de punta o estacas semillas.
- b) Estacas de tallo ya maduro.

Cuando la estaca está en crecimiento activo, su yema apical produce auxinas (fitohormonas) que inducen el crecimiento (alargamiento) del tallo nuevo, e inhiben la germinación de las yemas laterales. A este fenómeno se le llama dominancia apical. Por esta razón sólo brotan las yemas de las puntas y las laterales, próximas a la base.

Cuando se corta en trozos, germinan en cada uno de ellos la yema más nueva (se inhiben las más viejas), surgiendo

el problema de obtener un máximo de germinación de yemas.

Estudios cuidadosos han demostrado que los trozos de una sola yema brotan bien, siempre que los canutos hayan alcanzado el tamaño propio de la variedad.

Hay variedades de caña cuyas yemas germinan rápidamente y otras tardan más. En algunas variedades, las yemas -- brotan antes que las raíces y en otras ocurre lo contrario. Ta les diferencias de características germinativas son de origen genético.

Los factores que afectan el cultivo y la cosecha de la caña, son muy variados y van desde la temperatura y humedad del suelo y del ambiente hasta los tipos de fertilizantes usados, así como la variedad de caña que se cultive.

#### 2.1.2.- SUMINISTRO.

Durante la cosecha, la caña debe cortarse lo más cercano posible al suelo.

Después, la caña se deshoja y descogolla para, posteriormente, ser transportada al ingenio.

Con la mecanización de estas labores, si no están -- los terrenos perfectamente nivelados, casi es segura la labor post cosecha, denominada destroncone.

La recepción de caña en el batey se realiza normal--

mente las 24 horas del día durante los 7 días de la semana. - En la práctica se observa que la mayor afluencia de la materia prima se efectúa de martes a viernes, con picos de 8:00 - A.M. a 22:00 Hrs.

La provisión para las moliendas nocturnas y de fin de semana, se realiza almacenando la caña en torno a las ---- grúas, mecanismos estos, que la alimentan al conductor principal. Aquí comienza la fase preparatoria de la caña, mediante su corte y desfibrado para facilitar la extracción del jugo - por rompimiento de las células.

La caña así preparada, se hace pasar por una serie de molinos o por un difusor. Se humedece paulatinamente para extraer la mayor cantidad de sacarosa. Esta operación traerá aparejada, si no se hace bajo condiciones controladas, una -- excesiva humedad en el bagazo, subproducto objetivo de análisis de nuestro estudio.

Los porcentajes de los productos obtenidos de esta industrialización serán:

Cachaza	3.5%
Miel final	2.5%
Azúcar	10.0%
Agua	70.0%
Fibra	14.0%

## 2.1.3.- COMPOSICION FISICO-QUIMICA DEL BAGAZO.

## 2.1.3.1.- COMPOSICION FISICA (2.4)

El bagazo es de una textura fibrosa. Es 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%. Con un buen trabajo se podría reducir a 45% aunque es muy difícil obtener menos del 48%.

Debido a que es un sedimento fibroso, tiene también un alto contenido de cenizas, contiene además material insoluble (como celulosa), sustancias en solución en agua consistente en azúcar e impurezas en cantidades pequeñas (2 al 5%).

Las sustancias de la fibra pueden dividirse en dos grupos. El primero, comprende a los elementos prosenquimáticos llamados fibras. El segundo, contiene a los elementos parenquimáticos que son un tejido celular esponjoso llamado médula o pith. (2.2).

La cantidad de fibra en la caña es de 10 a 16%. El cálculo de la cantidad B de bagazo en 100 partes de caña, se hace igualando el peso de la fibra que entra a los molinos, - con el peso que sale:

$$100 f = B \cdot F$$

$$B = 100 f/F$$

donde:

$f$  = contenido medio de fibra en la caña

$B$  = cantidad de bagazo

$F$  = fibra en el bagazo

Se puede ver que la cantidad de bagazo varía entre el 26 y el 33%.

El peso específico aparente, Tromp (2.4) lo da de la siguiente forma:

160 a 240 g/dm<sup>3</sup> cuando se apila.

80 a 120 g/dm<sup>3</sup> cuando se deja suelto.

El peso específico depende mucho de la humedad. Es más ligero cuando contiene menos agua.

#### 2.1.3.2.- COMPOSICION QUIMICA (2.5)

##### ANALISIS DE ELEMENTOS EN PESO:

Hidrógeno 5.89%, Oxígeno 43.30%, Carbono 49.06%, Cenizas 1.75%.

La fibra es insoluble en agua y está constituida -- principalmente de celulosa, pentosas y lignina.

La celulosa  $((C_6H_{10}O_5)_n)$  es casi en su totalidad un tejido vegetal. Está mezclada con las pentosas, lignina, gomas, colorantes, etc. Raras veces se encuentra en estado puro.

De acuerdo a su grado de solubilidad, en una solución de sosa cáustica, la celulosa puede clasificarse en:

Celulosa-alfa.- Cuando es insoluble a temperatura ambiente.

Celulosa-beta.- Cuando es soluble.

Celulosa-gama.- Cuando es soluble y no precipita en ácido sino en alcohol.

Las pentosas son una forma de hemicelulosa, que al hidrolizarlas, se convierten en xilana, ácido urónico y rabinosa. Con la acción del ácido clorhídrico, las pentosas cambian a furfural.

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

La composición química de la fibra, puede resumirse en:

Celulosa 50%, Pentosas 28%, Lignina 18%, Cenizas 4%.

#### 2.1.4.- ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION (2.6)

La densidad aparente del bagazo lo hace muy voluminoso, por lo que, su almacenamiento es un problema. Si se conserva en un lugar seco, el problema no es tan grande en comparación con el que se presenta en los lugares húmedos, donde se descompone perdiendo su valor como combustible.

El bagazo obtenido en un molino de azúcar tiene un contenido medio de un 50 a un 53% de humedad y de un 2.5 a un 3.0% de azúcares. Se encuentra en pequeños bloques o montones.

La actividad microbial es un problema siempre presente en cualquier ingenio azucarero.

A temperatura ambiente, los microorganismos más activos son las levaduras mesofílicas. Proliferan con rapidez y su mayor daño es que causan la separación de la sacarosa en primer lugar en glucosa y fructosa y a continuación la de ambos azúcares en metanol y dióxido de carbono.

#### 2.1.5.- PODER CALORIFICO.

El valor calorífico es la cantidad de calor que puede producirse por la combustión de la unidad de peso del combustible en consideración.

Existiendo valores: El valor calorífico superior y el valor calorífico inferior. El primero es el producido por la combustión de un Kg. de combustible a cero grados centígrados, y el segundo, denominado también valor calorífico neto, supone que el agua que se forma en la combustión, así como el agua presente en la combustión, permanece en estado de vapor (2.4).

El valor calorífico del bagazo se calcula por diversas fórmulas. Dentro de las más importantes, están las de --



Von Der Hurst y la de Hessey. (2.5)

A continuación se muestra una tabla de los valores caloríficos del bagazo obtenido con las fórmulas mencionadas:

Von Der Hurst

	Valor calorífico Kcal/Kg.	% de sólidos solubles	% de humedad
Bruto	4550	10	45.5
Neto	4250	10	48.0

Hessey

	Valor calorífico Kcal/Kg.	% de sólidos solubles	% de humedad
Bruto	4636	12.3	46.46
Neto	4324	12.3	49.04

2.1.6.- EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL BAGAZO. (2.4)

La gran cantidad de humedad en el bagazo, provoca una disminución en el poder calorífico (8000 a 9000 BTU/Lb) y por lo tanto el rendimiento al generar vapor por libra de combustible, es muy bajo.

2.1.7.- RELACION, DEPENDENCIA, VENTAJAS Y DESVENTAJAS CON OTROS COMBUSTIBLES. (2.4)

Como consecuencia del exceso de humedad en el bagazo, de la baja eficiencia de las calderas o del consumo excesivo del vapor, se usan en los ingenios azucareros otros combustibles además del bagazo: leña, carbón, petróleo, gas natural, cachaza, etc.

El valor calorífico de la madera, está en función de la humedad que contenga. De acuerdo con Izart, la leña -- muy seca contiene 20% de agua, la leña seca el 30% y la leña verde del 40 al 50%. El VCB de la leña verde, es de 3225 -- Kcal/Kg., el VCN es de 2800 Kcal/Kg.; para la leña seca el -- VCN es de 3600 Kcal/Kg y el VCB es de 3990 Kcal/Kg.

El petróleo presenta la ventaja de que puede quemarse en hornos de bagazo, por medio de quemadores especiales. -- Además tiene un poder calorífico mayor (10700 Kcal).

El gas natural y el combustóleo tienen la ventaja -- de tener un poder calorífico mucho más alto:

	Gas Natural (Kcal/Kg.)	Combustóleo (Kcal/Kg)
Valor calorífico bruto	12250	10000
Valor calorífico neto	11200	9300

Las cachazas tienen la desventaja de dar gran cantidad de cenizas. Su VCN es de 3400 a 3800 Kcal/Kg y su VCB es de 4100 a 4250 Kcal/Kg en base seca.

#### 2.1.7.1.- EQUIVALENCIA CON OTROS COMBUSTIBLES.

Equivalencia de algunos combustibles usados en la industria azucarera en toneladas métricas de fibra de bagazo libre de humedad (2.7).

Combustible	Valor calorífico	Equivalencia en Ton. métricas de fibra de bagazo.
Combustóleo	10 000 Kcal/Kg.	0.333
	18 000 Btu/lb	
Gas natural	8 800 Kcal/m <sup>3</sup>	0.374
	1 000 Btu/ft <sup>3</sup>	
Carbón mineral	6 700 Kcal/Kg	0.530
	12 000 Btu/lb	

## 2.2.- COMBUSTOLEO

Todos los aceites combustibles se derivan del petróleo y consisten en residuos, destilados y mezclas.

Aceites residuales son aquellos que no se han evaporado durante el proceso de refinado, y por esta razón, son los de menor precio.

El combustóleo es un derivado del petróleo, y tiene como principal característica, un alto grado de viscosidad a la temperatura normal; por este motivo, se almacena en depósitos provistos de serpentines de vapor (2.8).

### 2.2.1.- COMPOSICION FISICO-QUIMICA

La composición promedio de los aceites pesados (combustóleos), obtenidos en nuestro país, es la siguiente:

% de Carbono	83.52
% de Hidrógeno	11.68
% de Azufre	3.27

Además de estos componentes, se tiene un pequeño porcentaje (menor a 0.2%) de cenizas; así como de agua y sedimentos (máximo 2%) (2).

### 2.2.2.- PODER CALORIFICO (2.9)

El poder calorífico, así como otras características importantes, se enuncian a continuación:

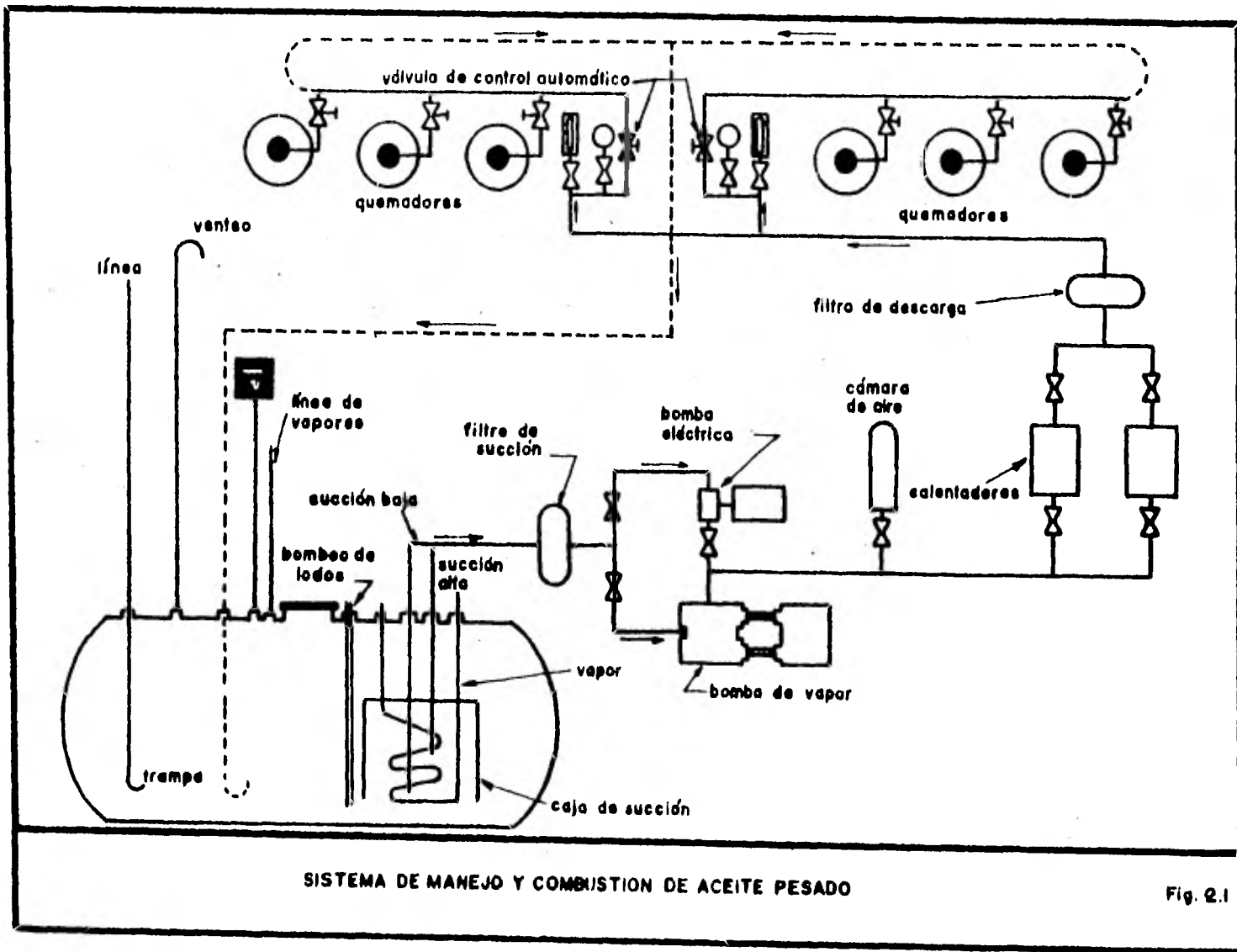
Poder calorífico Kcal/Kg.	10 420
Punto de inflamación °C	mayor de 65.5
Viscosidad a 37.8°C cS	370
Densidad relativa a 15.6°C	0.95

### 2.2.3.- ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION

En el manejo de los combustibles pesados, es necesario incluir serpentines de vapor y calefacción en las líneas, con el fin de mantener el combustible suficientemente líquido y poder trasegarlo por bombas alternativas de desplazamiento positivo o por gravedad, en condiciones favorables.

Es muy importante que el suministro de aceite a los quemadores se haga sin interrupción para que sea estable. Esto hace posible mantener constante una buena combustión. En esta forma es fácil ajustar el aire necesario.

Las líneas de descarga de las bombas a los quemadores, incluyen calentadores y filtros dobles en el cabezal de descarga, así como válvulas de regulación a los quemadores. Si se usa aceite # 6 o más pesado, son necesarios calentadores para elevar la temperatura y obtener de 150 a 400 SSU (Segundos Saybelt Universales) según el tipo de atomización, es decir, en el primer caso para atomización mecánica y en el segundo atomización por vapor. Es necesario un control automático para regular el vapor a los calentadores con el objeto de mantener la temperatura deseada. (2.10).



SISTEMA DE MANEJO Y COMBUSTION DE ACEITE PESADO

Fig. 2.1

#### 2.2.4.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN SU UTILIZACION.

##### 2.2.4.1.- Ventajas.

- a) Su almacenamiento es compacto.
- b) Los suministros son de composición uniforme.
- c) Baja proporción de cenizas (no hay pérdida de calor por cenizas ni formación de escoria).
- d) No está propenso a la combustión espontánea.

##### 2.2.4.2.- Desventajas (2.11):

- a) Requiere de medidas especiales para su almacenamiento y distribución.
- b) Necesita precalentarse antes de la combustión.
- c) Es necesario recircularlo por el sistema de distribución para mantener constantes la viscosidad y la temperatura requeridas.
- d) En nuestro país, en estos días, donde la fuerza tractiva está francamente en déficit, se han confrontado serios problemas con el suministro, llegando incluso ya a detenerse la molienda en algunos ingenios.

### 2.3.- GAS NATURAL. (2,12)

Se llama gas natural a las acumulaciones de gas que tienen lugar debajo de la tierra, que pueden o no estar asociadas con las correspondientes acumulaciones de petróleo crudo. Prácticamente, todas las acumulaciones de petróleo tienen asociado gas natural en él; gas disuelto y también una capa de gas libre arriba del petróleo crudo. También hay acumulaciones de gas sin petróleo crudo.

#### 2.3.1.- ORIGEN (2.13)

Se cree que el gas natural se formó por fermentación y descomposición de la materia orgánica a ciertas condiciones de presión y temperatura. El gas natural, al salir de los pozos, pasa por un proceso en el que se le eliminan los condensados, refiriéndose éste a la gasolina natural, al butano y propano. Estos condensados, son extraídos del gas natural mediante dos procesos, uno es el de absorción en aceites, y el otro es por compresión y enfriamiento.

#### 2.3.2.- CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS (2.14)

Las propiedades físicas de un gas natural incluyen calor, olor e inflamabilidad.

En muchos gases naturales están presentes en cantidades ampliamente variados, el nitrógeno, el ácido sulfúrico y el dióxido de carbono. Un constituyente menos corriente, es el helio.



El nitrógeno y el helio no son inflamables y si uno o ambos están presentes en abundante proporción, el gas no arde.

Física y genéticamente el gas natural es la fase gaseosa del petróleo y su existencia en yacimiento es muy similar a la del petróleo.

El gas natural es también soluble en el agua. A las temperaturas y presiones existentes en los yacimientos, el agua tiene una capacidad de disolución aproximadamente igual a la veintava parte de la del petróleo.

Por tanto, cuando el petróleo está saturado de gas, éste ocupa no solamente los huecos de la roca por encima del petróleo, sino que también está en solución en el agua intersticial a través de toda la zona de hidrocarburos líquidos.

Una diferencia esencial entre el petróleo y el gas, es la movilidad. El gas puede pasar por aberturas más pequeñas. Puede, por lo tanto, trasladarse hasta puntos más distantes de su origen que el petróleo, lo que explica por qué el gas puede encontrarse en trampas por encima del agua, sin que intervenga petróleo alguno.

Existe una considerable variación entre los gases naturales de yacimientos diferentes e incluso de partes diferentes de un mismo yacimiento en términos de porcentaje de metano y gasolina, otros hidrocarburos, ácido sulfúrico, nitrógeno, -

helio y dióxido de carbono.

Los gases naturales se pueden clasificar en tres grupos:

GRUPOS	% Metano	% de N <sub>2</sub>	Densidad Esp.	P.C BTU/pie <sup>3</sup>
Con alto contenido de inertes	71.9 a 83.2	6.30-16.20	.66 a .768	958 a 1051
Con alto contenido de metano	87.1 a 97.2	.10- 2.39	.59 a .614	1008 a 1071
Con alto poder calorífico	85 a 90.1	1.20- 7.50	.62 a .719	1071 a 91124

### 2.3.3.- SISTEMAS DE DISTRIBUCION Y CONTROL (2.15)

Dada la alta presión que el gas natural tiene al fluir de los pozos, este combustible puede transportarse a grandes distancias a través de ductos, para ser aprovechados en los centros de consumo.

Para obtener las mayores ventajas de los sistemas de transporte y distribución a alta presión, es interesante poder emplear las máximas presiones que sean compatibles con la carga y la tubería, que además faciliten el mantenimiento.

Para conseguir esto, es con frecuencia necesario transportar el gas a presiones muy altas, de varias atmósfe-

ras, debiendo entonces reducir la presión al llegar a áreas pobladas, en las que a su vez se reduce la carga de la tubería.

#### 2.3.4.- PODER CALORIFICO (2.16)

El poder calorífico del gas es de 900 a 1200 BTU/PIE<sup>3</sup>

El poder calorífico de los constituyentes del gas natural es:

COMPONENTES	P. CALORIFICO Kcal/Kg.	AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTION COMPLETA. m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> gas.
Hidrógeno	2900	2.38
Oxido de carbono	2860	2.83
Metano	9000	9.53
Etano	15950	1.67
Propano	23100	23.8
Butano	29980	30.97

Su gravedad específica con respecto al aire, es de 0.58 a 0.79. Estos valores dependen de las cantidades del etano presente y de los residuos de los otros hidrocarburos.



## 2.3.5.- EQUIVALENCIA CON OTROS COMBUSTIBLES (2.13)

C O M B U S T I B L E	Btu/lb de combustible		Btu/ft <sup>3</sup> de combustible	
	P.C. Bajo	P.C. Alto	P.C. Bajo	P.C. Alto
Carbono (para CO <sub>2</sub> )	14150	14150		
Carbono (para CO )	3960	3960		
Hidrógeno	51500	61000	276	326
Azufre (para SO <sub>2</sub> )	3900	3900		
Antracita	9260	12800		
Carbón Bituminoso	14000	14500		
Carbón subbituminoso	12600	13000		
Coque	11500	11500		
Lignito		6000		
Madera (seca)	5800	7200		
Alcohol Metílico (CH <sub>4</sub> O)	8400	9600		
Alcohol Etílico Comer-- cial (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)	10500	11600		
Gasolina	18800	20500		
Kerosina	18600	19900		
Gasoleos (Diéseles)	18000	19200		
Octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	19080	20550		
Monóxido de Carbono	4360		321	
Gas de Alto Horno	1240	1265	90	110
Gas pobre	1880	2000	128	136
Gas natural	21025	23490	932	1040
Metano	21580	23650	895	1000
Etano	20110	22100	1590	1745
Propano	19690	21500	2290	2500
Acetileno	20835	21669	1430	1480

2.3.6.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS (2.12)

2.3.6.1.- Ventajas:

- a) No contiene ni cenizas ni residuos
- b) Se mezcla fácilmente con el oxígeno y como consecuencia, se necesita poco exceso de aire.
- c) Se adapta perfectamente al control automático.
- d) Responde este control en forma rápida a las variaciones de la carga.

2.3.6.2.- Desventajas: Para la utilización en los quemadores se requiere de equipos de:

- a) Regulación
- b) Equipos de control
- c) Dispositivos de seguridad.

Todos estos equipos pueden ser altamente costosos, dependiendo del grado de automatización requerida.

## 2.4.- CACHAZA (2,17)

Residuo obtenido de cualquier tratamiento de recuperación de azúcar, al que son sometidos los lodos provenientes del proceso de clarificación del jugo de especies vegetales -- productoras de azúcar.

## 2.4.1.- COMPOSICION FISICO-QUIMICA. (2.2)

La composición química aproximada de la cachaza es - la siguiente:

COMPONENTE	R A N G O
Fibra	de 15 a 30%
Azúcar	5 - 15%
Cera y grasas	5 - 14%
Proteína cruda	5 - 15%
Cenizas	9 - 20%
S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	4 - 10%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1 - 4%
C <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1 - 3%
Mg O	1 - 1.5%
N	0.9 - 1.5%
K	1 - 1.5%

La constitución química de la cachaza depende de algunos factores como son: la variedad de la caña y el grado de frescura con que llega a la fábrica. La mecanización en las cosechas produce más impurezas, la quema de la caña produce alteraciones básicas y aumentan el volumen de la cachaza. La cantidad y calidad de la cal y demás clarificantes empleados, las dimensiones de los orificios de los coladores, métodos de filtración y maquinaria, la temperatura del agua, etc. Son otros elementos que intervienen en la composición.

#### 2.4.2.- ORIGEN DENTRO DEL PROCESO. (2.18)

La cachaza resulta de decantar los fragmentos de caña que flotan en el jugo cuando viene de los molinos. El jugo contiene también ácidos orgánicos, cuerpos nitrogenados y azúcar invertido en solución que son muy susceptibles de fermentar. Para esto, el jugo se procesa en clarificadores continuos y en ocasiones se aplican coagulantes para facilitar la decantación de las impurezas. El líquido se calienta hasta 100°C aproximadamente.

#### 2.4.3.- POSIBILIDAD DE UTILIZACION (2.19), (2.2)

La cachaza en algunos ingenios, se utiliza bajo las condiciones en que sale de la fábrica, para el mejoramiento de los suelos cañeros. También se pueden fabricar algunos productos a partir de la cachaza, tales como: fertilizantes, ceras y grasas, carbón activado, alcohol etílico, abono, leu



duras, cemento, pinturas al temple, agentes espumantes, y protefnas; todos demostrados a nivel laboratorio. Es todavía -- cuestionable su explotación a nivel industrial.

#### 2.4.3.1.- ANTECEDENTES (2.19)

La cachaza por lo general no tiene gran aplicación. Es también una causa continua de contaminación. Debido a esto, se menciona un sistema que consiste en secar la cachaza y alimentar con el polvo seco de ésta, un horno donde se incinera.

#### 2.4.3.2.- EFECTO DE LA HUMEDAD (2.2).

Utilizando filtros prensa, se obtienen de 14 a 18 - Kg. de cachaza/ton. de caña con humedad de 35 a 50%, y usando filtros rotativos al vacío se obtienen de 28 a 45 Kg. de ca--chaza/ton. de caña con humedad de 65 a 80%. Debido a su alto contenido de humedad, el poder calorífico de la cachaza resulta muy bajo en comparación con el de otros combustibles comunes.

#### 2.4.3.3.- DEMANDA ENERGETICA.

Para poder utilizar la cachaza con fines combusti--bles, es necesario eliminar la elevada proporción de humedad (cerca del 80%) que conlleva. Por este motivo, y la elevada carga energética requerida, su aplicación no ha sido costea--ble aún.

## 2.5.- VINAZAS (2.20)

Se conoce con el nombre de vinaza al residuo líquido pastoso y turbio más o menos espeso que queda después de destilar las melazas de caña o remolacha (ricas en fertilizantes, hidrógeno, fósforo y potasio).

### 2.5.1.- COMPOSICION FISICO-QUIMICA (2.21)

Cuando las vinazas no encuentran aplicación como abono, se utilizan para obtener sales potásicas. Su obtención se lleva a cabo concentrándolas hasta aproximadamente 60% del volumen primitivo y quemándolas después en hornos Poirion o Gamer. Estos hornos consisten de una cámara de evaporación en la que se elimina el agua de las vinazas concentradas, y una cámara de combustión en la que se quema el residuo. La composición del residuo que se obtiene depende de la naturaleza de la mezcla utilizada y de la forma de trabajarla. El residuo del horno puede tener la siguiente composición:

Carbonato potásico	20-50%
Carbonato sódico	10-20%
Cloruro potásico	10-17%
Sulfato potásico	10-17%
Materias insolubles	9-30%

Estas cifras oscilan dentro de límites muy amplios, especialmente cuando se trata de melaza de caña de azúcar.

### 2.5.2.- ORIGEN DENTRO DEL PROCESO.

Las vinazas, al salir de la torres de destilación, son conducidas primeramente a unos depósitos de grandes dimensiones y de mucha superficie, pero de escasa profundidad, en donde precipitan las heces, así como la mayor parte de las impurezas dando un líquido transparente de color algo verdoso.

Las vinazas permanecen en estos depósitos de 6 a 12 horas, luego el líquido transparente se envía a una cuba donde se le trata con una lechada de cal formándose tartrato de cal y tartrato neutro de potasa. El volumen de este líquido, llamado vinaza, viene a ser poco más o menos igual a los dos tercios del volumen primitivo del vino introducido en la torre para su destilación.

### 2.5.3.- POSIBILIDAD DE UTILIZACION (2.22)

En ciertas regiones en donde hay escasez de combustible, se emplean al efecto las vinazas de las destilerías -- después de haberlas secado al aire. Para lograrlo, basta con extenderlas en capas delgadas de 5 a 10 cm. de espesor, ya en desván bien ventilado o en un patio expuesto a los rayos del sol. Durante el día se revuelven varias veces para activar su desecación. Una vez secas, se almacenan para luego utilizarlas.

#### 2.5.4.- ANTECEDENTES (2.6)

Durante la producción de alcohol se obtienen vinazas como subproducto, y mediante su evaporación hasta un 60% de concentración de sólidos. Estas vinazas se hacen apropiadas para su uso como combustible en calderas para la generación de vapor de procesamiento. Mediante la utilización de las vinazas como combustible la fábrica de alcohol puede conseguir ahorros de aproximadamente un 50% de su consumo de combustible.

Presentamos a continuación algunas experiencias reportadas en el mundo azucarero.

##### 2.5.4.1.- PROCESO DE DESCONTAMINACION DE VINAZAS AL FA-LAVAL/AHLSTROM (2.23).

Consiste en lo siguiente:

Es una unidad de cuádruple efecto, acoplada con un concentrador final que usa presión de vapor reducida. Todo el equipo en contacto con fluidos corrosivos es fabricado en acero inoxidable. Aunque la planta tiene un consumo de vapor de cerca de 0.27 ton. de vapor por ton. de agua evaporada, la recompresión de vapor puede incorporarse si se requiere mejorar la eficiencia en el aprovechamiento del calor.

Cada paso de evaporación tiene una lámina tipo calentador elemental por una película naciente de evaporación y

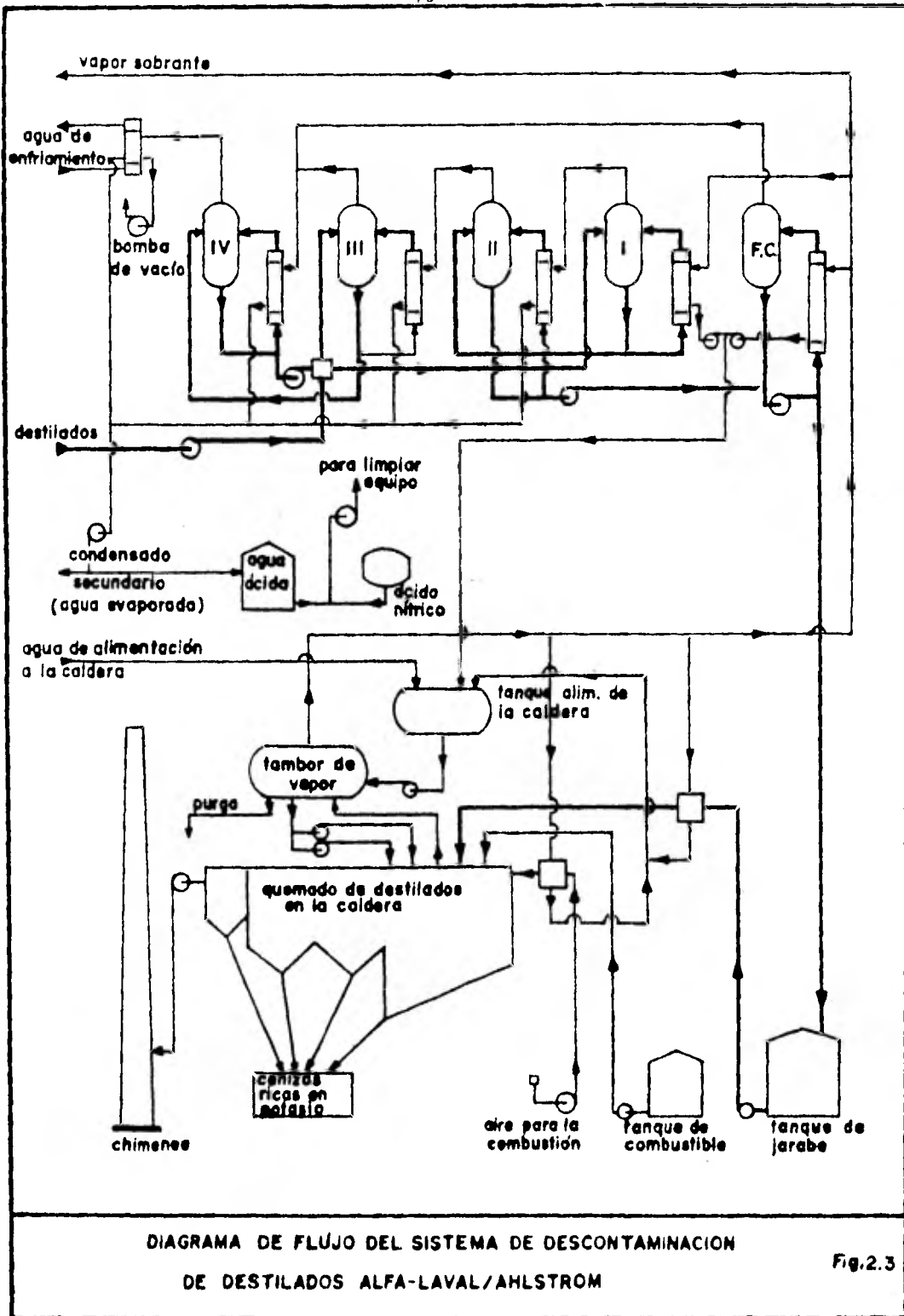


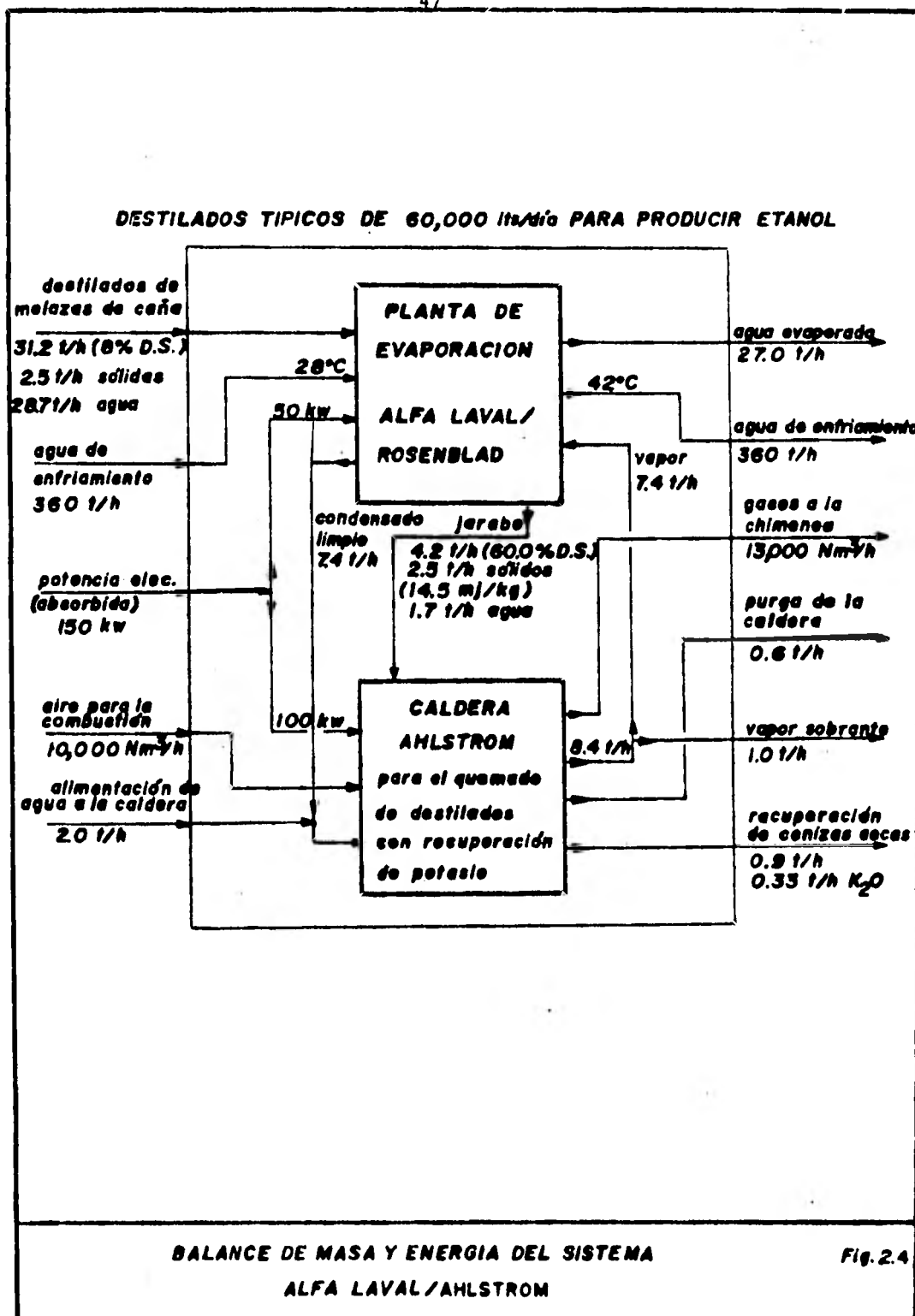
Fig.2.3

una cámara independiente de separación de vapor/líquido para liberar vapor, o para recircularlo. Los cuatro pasos tienen circulación natural mientras que el concentrador final ha bombeado flujo a circulación forzada.

Por medio de una bomba de vacío, la planta puede ser operada a la temperatura más baja prácticamente posible y a una temperatura de evaporación de 50-55 °C del paso 4, una temperatura de líquido de aproximadamente 110°C se puede ajustar en el efecto del primer paso.

Hay tres flujos de condensados de la planta. Dos son vapores condensados limpios los cuales pueden ser retornados al equipo para reusarse. El condensado secundario contiene impurezas, tales como ácidos orgánicos volátiles y puede ser usado en la dilución de melazas. En esta forma, la mayor parte del agua evaporada puede ser reclamada por las necesidades del proceso con un nivel de pH ligeramente reducido, haciendo así ahorros en la fermentación del ácido. La limpieza de la planta se puede llevar a cabo durante la operación por medio de una fácil derivación y un flujo rápido de ácido. Para este propósito, parte del condensado secundario es usado en conjunción con ácido nítrico.

El jarabe final con un contenido de aproximadamente 60% de sólidos secos es bombeado por la vía de un tanque colchón a través de un calentador de vapor para elevar su temperatura hasta el punto de ebullición. Es entonces impulsado ha--



cia un quemador especial de cabeza dentro de la zona de combustión de la caldera. Aquí el aire se introduce tangencialmente para producir un remolino con lo cual toma lugar una rápida combustión. En esta forma hay una separación efectiva de la ceniza de los gases de escape. Las partículas de ceniza caen al piso de la caldera donde pueden ser removidas.

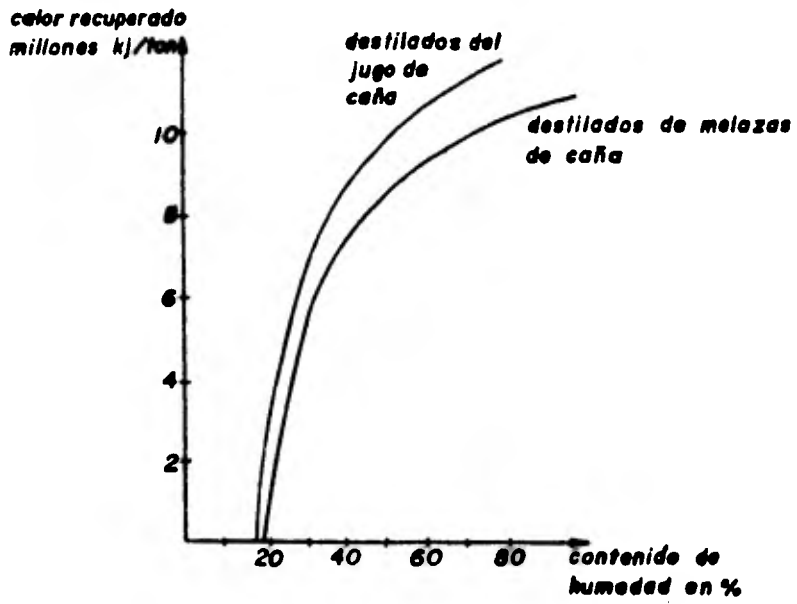
Los gases de escape salen de la cámara de combustión aproximadamente a 750°C reteniendo todavía finas partículas de ceniza y pasan a través de la sección principal de calentamiento de la caldera. Las superficies de calentamiento de la caldera se mantienen limpias con un mecanismo de golpeo en las paredes, especialmente desarrollado para esta aplicación.

Otra vez, las cenizas no quemadas caen al piso para promover su eliminación.

Los gases de escape dejan la sección de calor recuperado con cerca de 300°C. En esta etapa, más del 70% de la materia orgánica de los destilados puede ser recuperada junto con un vapor saturado con una eficiencia de la caldera arriba del 60%.

Los gases de escape son expulsados por una corriente de aire de un ventilador de tiro inducido, las cenizas más lejanas pueden ser removidas por cualquier método restregador de humedad.





RECUPERACION DE CALOR POR COMBUSTION DE VINAZAS

Fig.2.5

2.5.4.2.- La firma Hollandse Constructie Groep by - (2.24), reporta la instalación de las siguientes calderas para el quemado de vinazas en el mundo:

- (1) Caldera (1962) Austria  
2.5 t/h vinazas, 6.8 ton. vapor/h, 8 Kg/cm<sup>2</sup>.
- (1) Caldera (1963) Holanda  
5 t/h vinazas, 22 ton vapor/h, 27 Kg/cm<sup>2</sup>.
- (1) Caldera (1970) Checoslovaquia  
2.5 t/h vinazas, 6.8 ton vapor/h, 8 Kg/cm<sup>2</sup>.
- (3) Caldera (1979) Tailandia  
2.5 t/h vinazas, 6.6 ton vapor/h, 16 Kg/cm<sup>2</sup>.
- (3) Caldera (1979) Tailandia  
5 t/h vinazas, 13 ton vapor/h, 9 Kg/cm<sup>2</sup>.

2.5.4.3.- En Brasil la firma Codistil informa haber desarrollado un sistema para concentrar y después quemar las vinazas en calderas que deben ser muy similares al sistema Holandés que a continuación se expone.

2.5.5.- Quemado de vinazas para generación de vapor y aprovechamiento industrial de los subproductos de la incineración.

El arreglo de la figura 2.6 nos hace visualizar la posibilidad de un sustancial ahorro energético, sobre todo en la destilería, al utilizar gran parte del vapor generado por la caldera de vinazas, concentrando éstas hasta 60% de sólidos.

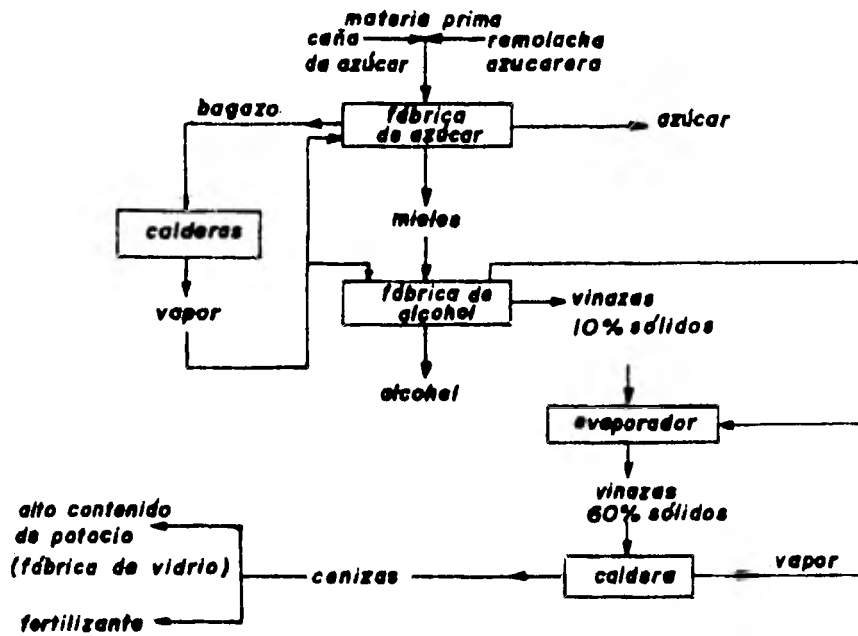


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE  
QUEMADO DE VINAZAS

Fig. 2.6

dos con lo que su poder calorífico se incrementa hasta 2000 - Kcal/Kg. La economía lograda se estima cercana al 50% en la fábrica de alcohol.

Las cenizas producidas por las vinazas provenientes de remolacha se utilizan como aditivo en las fábricas de vidrio.

La figura 2.7 nos muestra un balance típico de una destilería, teniendo como subproducto las vinazas.

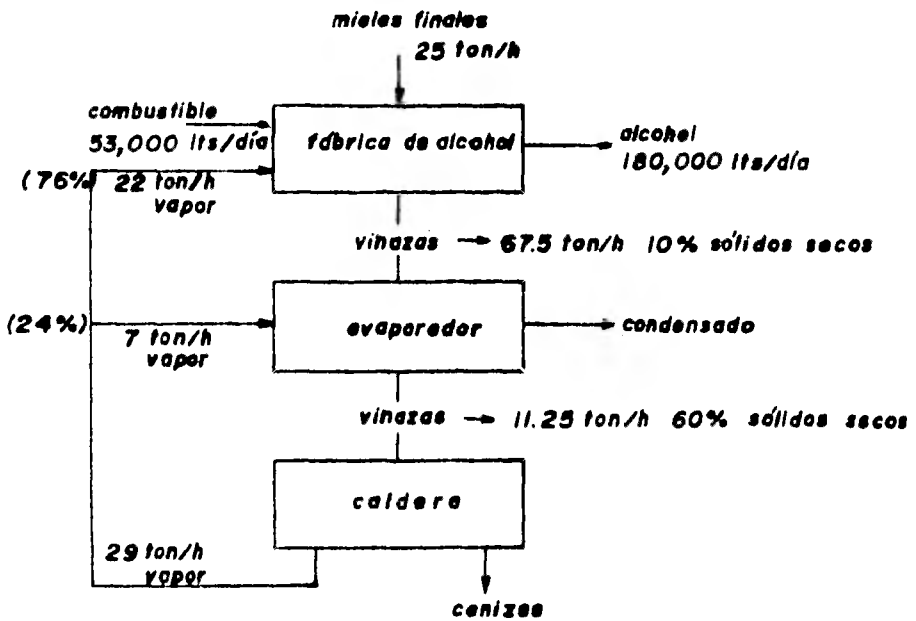
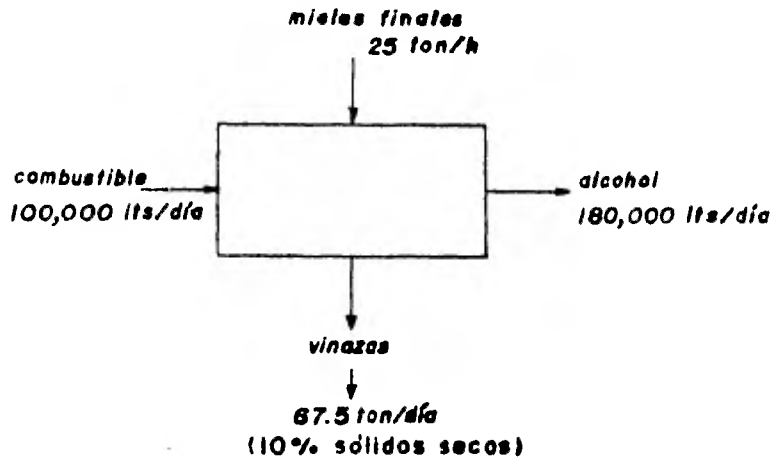
Como ya se ha indicado, deshacerse de este gran contaminante es cosa seria, por lo que en países como Brasil, -- gran productor de alcohol, se han diseñado ya equipos de riego en el campo para aprovechar su humedad y poder como fertilizante, pero más que nada, abatir costos en su alimentación.

Ahora bien, si se considera el sistema donde se implanta una caldera para quemar las vinazas, el balance quedaría como se muestra en la figura 2.8.

Es fácil observar las ventajas en el aprovechamiento del vapor generado, sobre todo en la destilería.

#### Descripción de los equipos involucrados.

La instalación consiste de la caldera propiamente dicha, un precipitador electrostático para limpiar los gases de escape y un limpiador de bolas para limpiar la parte convectiva de la caldera.



BALANCES DE ENERGIA EN UNA FABRICA DE ALCOHOL

Fig. 2.7  
y  
Fig. 2.8

## Caldera

La caldera es del tipo circulación natural y consiste de una amplia cámara de combustión, la cual cuenta con tubos verticales.

Los tubos de la cámara de combustión son soldados a los cabezales.

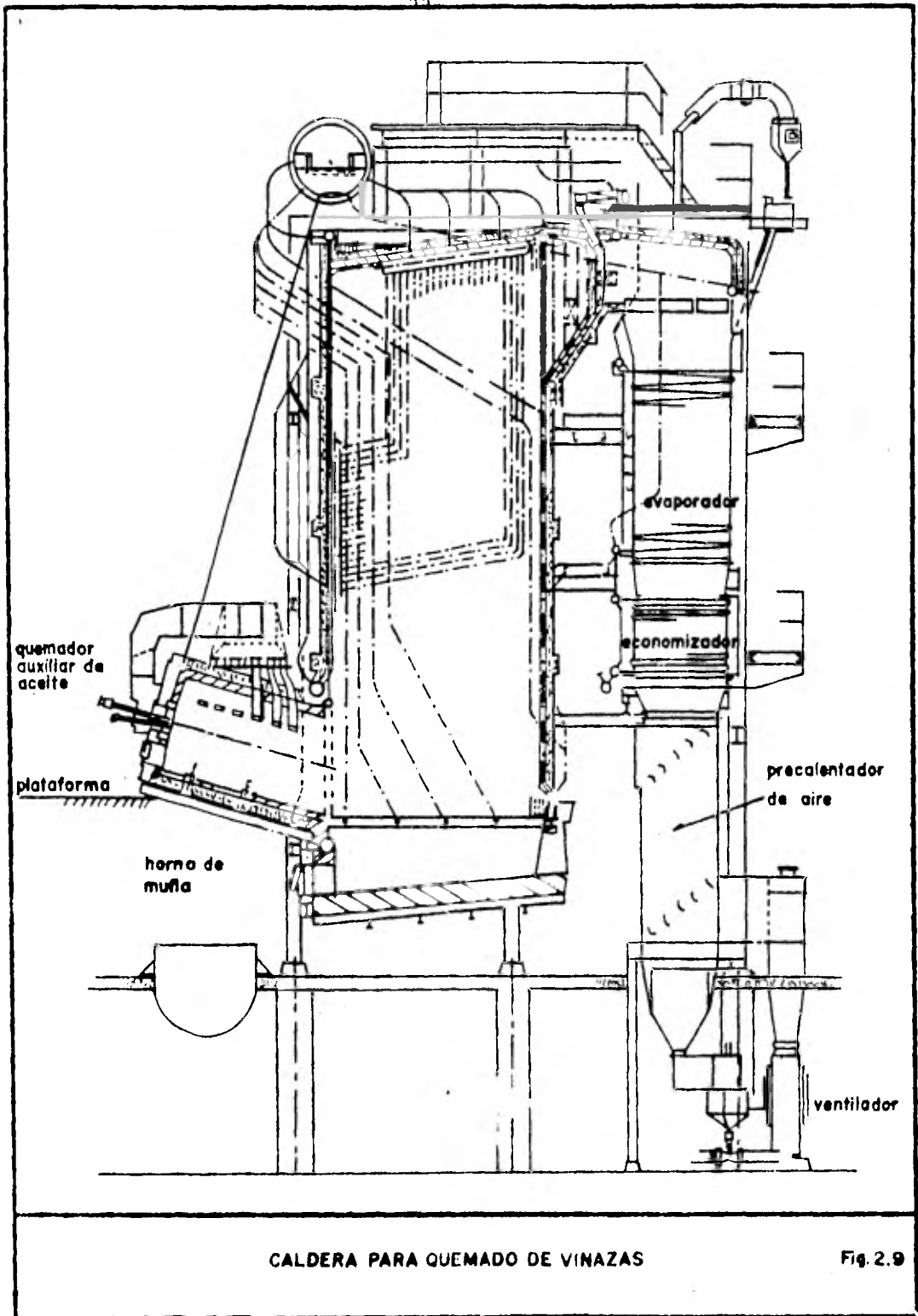
Los cabezales inferiores están conectados con esquíneros desde el domo, quedando afuera de la cámara de combustión.

Los cabezales superiores están conectados directamente al domo.

El quemador modular es un diseño especial y está enfriado con agua para preservar el material refractario.

La cámara de combustión está equipada con registros de hombre adecuados para su inspección.

La cámara de combustión está precalentada con un quemador de aceite o gas. Con vapor atomizado se provoca la combustión en la cámara. El aire precalentado se transporta dentro de la cámara de combustión en forma axial. En la parte superior de la cámara de combustión se halla un ventilador para enfriar los gases abajo del punto de fusión, antes que la corriente de gases entre al segundo paso de la parte convectiva, o sea el evaporador, economizador y precalentador de



CALDERA PARA QUEMADO DE VINAZAS

Fig. 2.9

aire.

Los tubos de ambos, economizador y precalentador de aire son horizontales.

Precipitador electrostático.

Para limpieza de los gases de combustión. Este precipitador es necesario para limitar la emisión de partículas abajo del límite establecido.

Limpiador de bolas.

El segundo paso de la caldera, donde están situados los tubos horizontales, es limpiado con bolas. Estas caen hacia abajo a través de la superficie, limpiando las partículas ahí depositadas. Las bolas se recolectan en la parte inferior y de ahí se transportan de nuevo hacia arriba, formando un circuito cerrado.

#### 2.5.6.- PERSPECTIVAS DE APLICACION.

La perspectiva de utilizar el alcohol en mezclas -- combustibles para motores de combustión interna, aún en países como el nuestro, ricos por el momento en hidrocarburos, -- llama a la investigación de este sistema, con miras a:

- . eliminar la contaminación por el desalojo de las vinazas,
- . hacer más eficientes operativamente las destilerías, beneficiando la agricultura.



Queda pues este tema como sujeto a estudio, toda vez que el país cuenta con elementos tecnológicos suficientes para desarrollar una caldera que reúna las características anteriores, siendo económica y eficiente.

Hasta aquí hemos analizado el tema desde un punto de vista meramente energético, acorde con la motivación fundamental del seminario; no obstante, es necesario mencionar que la mejor y más viable utilización de las vinazas es a través de su descomposición bacteriana mezclada con cachaza, aprovechando su elevada humedad.

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

- (2.1) "Determinación de humedad en muestras de bagozo de caña de azúcar"  
- Norma oficial mexicana. DGN.
- (2.2) "Industrialización de los subproductos del -- azúcar"  
- Tesis Prof. Fac. de Ing. UNAM, 1974, Chávez Pérez.
- (2.3) "Fisiología de la caña de azúcar"  
- CNIA, Div. Técnica, IMPA, No. 6. 1976. Camargo, P.N.
- (2.4) "Manual para ingenieros azucareros"  
- Hugot, E.
- (2.5) "By products of the cane sugar industry"  
- Paturau, J.M. 1969.
- (2.6) "Sugar y azúcar. Revista, septiembre 1980.  
D.S. Cusi.
- (2.7) "Review of progress with bagasse for use in - industry"  
- Joseph E. Atchinson
- (2.8) "Energía mediante vapor, aire o gas"  
- W.H. Severns, H.E. Degler y J.C. Miles Ed. Reverté.

- (2.9) "Combustible pesado de PEMEX y su uso en la -  
industria"  
- PEMEX, México 1954.
- (2.10) "Plantas de vapor" Diseño, operación y mante-  
nimiento.  
- Charles Donald Swift.
- (2.11) "Los combustibles y su tecnología"  
- Biblioteca de PEMEX (7106/2355) 1969
- (2.12) "Tecnología del Petróleo"  
- Gini Lacorte, Ed. El Ateneo
- (2.13) "Geología del Petróleo"  
- Kennet K. Ed. Omega
- (2.14) "Tecnología química del petróleo"  
- Willan A. Gruse. Ed. Omega.
- (2.15) "Tecnología del gas"  
- Irving Deutsch. Ed. Blume
- (2.16) "Handbook of Natural Gas Engineering"  
- Donald L. Etal.
- (2.17) "Determinación de Pol. (sacarosa aparente) en  
muestras de cachaza"  
- Norma Oficial Mexicana -DGN- F - 269 - 1976.
- (2.18) "Curso de química industrial"  
Thorp  
Facultad de Química
- (2.19) "Sugar Journal "Edition en Español  
- Jul-Sep. 1980.  
"Los derivados de la caña de azúcar" por Jor-  
ge Tena.
- (2.20) Gran Enciclopedia Larouse  
Facultad de Ingeniería
- (2.21) Levaduras y Alcoholes  
Kretzachmar  
Facultad de Química.
- (2.22) Aguardientes y Vinagres  
P. Pacottet Guittonneau  
UNPASA
- (2.23) The burning answer to a burning question  
The Alfa-Laval/Ahlstrom Stillage Depollution  
System
- (2.24) New vinasse boiler, hog.

### C A P I T U L O 3

#### ESTUDIO DE ALGUNOS ESQUEMAS TENDIENTES A LA OPTIMIZACION EN EL USO DE LOS COMBUSTIBLES.

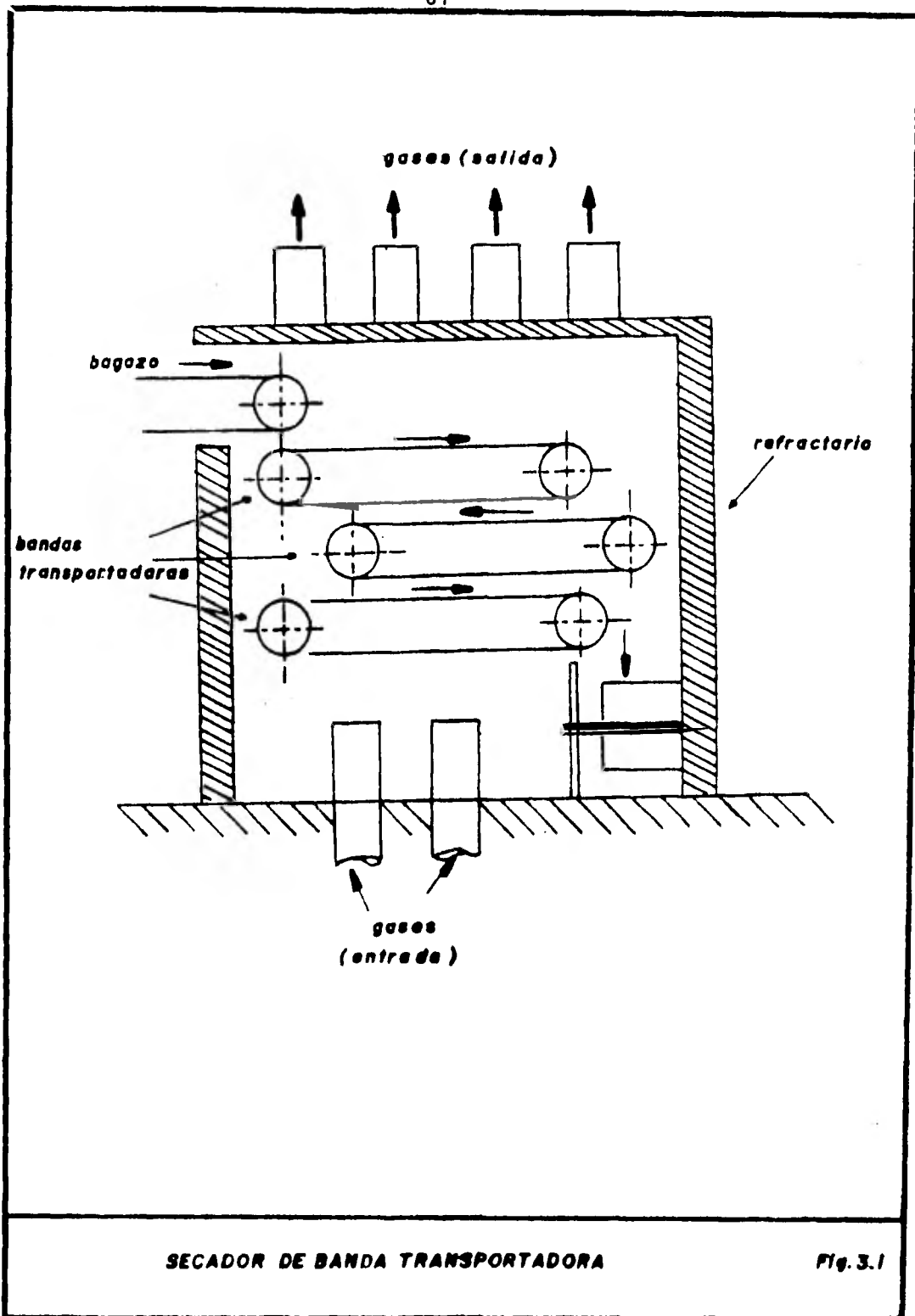
##### 3.1.- SECADO DE BAGAZO.

##### 3.1.1.- ANTECEDENTES DE APLICACION.

##### 3.1.1.1.- ANTECEDENTES DURANTE EL SIGLO PASADO.(3.1)

Las primeras proposiciones para secar el bagazo con los gases de escape son de Merrick (patente 3994, 1845, U.S.) y Crosley (patente 11158, 1846, UK.). En ambos casos el bagazo se maneja dentro del secador de ladrillo refractario, por medio de bandas como se muestra en la figura 3.1. En una fábrica que trabaja con 50 ton. por hora, el secador media 40 - ft de longitud, 7 de ancho y 30 de altura. El transportador corría a 7 ft/min. y el bagazo secaba de 50% de humedad a --- 35%.

Existe otro arreglo en el cual el bagazo viaja verticalmente, es decir, cae y los gases suben. Este arreglo co



responde a la patente 1532 de 1882 de Gros-Desarmeneaux's y fue experimentado por Kerr y Nadler.

Otro caso es el secado basado en la pulpa de remolacha en Egipto, en el cual el bagazo viaja dentro del secador - en forma de espiral.

3.1.1.2.- En CUBA (3.2) se realizó un estudio que trata sobre la "SIMULACION DEL PRESECADO DE BAGAZO EN SISTEMAS SECADOR GENERADOR DE VAPOR".

En él se presentan los modelos matemáticos y los algoritmos desarrollados para dos Sistemas en circuito cerrado - Secador-Generador de Vapor.

En el primero, el combustible se seca directamente - con los gases de escape saliente.

En el segundo, también se utiliza como medio secador, (segundo paso), aire precalentado con estos mismos gases.

En ellos la energía de los gases de chimenea, se --- transfiere al material ya sea por contacto directo o indirecto, en flujo paralelo, contracorriente o de otra manera.

Para incluir la instalación de un secador a un Generador de vapor existente, es fundamental predecir la cantidad de combustible que el sistema podrá economizar.

La solución a este problema consiste en determinar -

hasta qué grado es posible presecar la totalidad del combustible necesario con los gases disponibles, para diferentes regímenes de operación del sistema.

Esto requiere el conocimiento previo del modelo matemático del comportamiento del Generador de vapor, y el planteamiento simultáneo del balance de materiales y energía del secador, así como la curva de secado del combustible.

Las condiciones continuamente variables debidas a la interdependencia mutua de los fenómenos transientes, la no existencia de una solución analítica exacta para este tipo de tareas, lo trabajoso y poco confiable de los métodos numéricos manuales, obligaron a simular en la computadora digital el trabajo de los sistemas estudiados.

En el estudio, se presentan dos programas de computadora para el cálculo de humedad final y del posible ahorro de combustible (ver referencia).

Los algoritmos fueron verificados en la computadora digital para bagazo húmedo, obteniéndose que mediante los sistemas propuestos se puede ahorrar hasta el 10% del combustible normalmente necesario para el Generador de Vapor EKE 45/46 de tipo acuatubular.

3.1.1.3.- FILIPINAS.- En la central AIDSISA se instaló un secador rotativo de 12 pies de diámetro por 44 pies de longitud, para el secado de 50 toneladas métricas por hora de

bagazo con 54% de humedad. Con un volumen de 120 000 pies cúbicos de aire por minuto a 600 °F, ésta unidad provoca un descenso de humedad final en el bagazo hasta 42% (3.3).

En algunas situaciones, los ventiladores de tiro inducido de las calderas pueden también utilizarse para extraer los gases que pasan a través del secador hacia la chimenea, - pero por la versatilidad de las calderas y la operación de secado, fue recomendado que el secador se instalará con su propio ventilador. La potencia de un ventilador para un sistema de secado de este tipo, deberá estar aproximadamente entre -- 250 y 300 HP, dependiendo de la distancia a la que se ha colocado el secador de la fuente de gas de la caldera.

El bagazo con un 42% de humedad tiene un poder calorífico de aproximadamente 4 500 BTU, en comparación con los - 2900 BTU que tiene el bagazo con 54% de humedad, lo cual nos representa un aumento del 36% en el poder calorífico. A un - 42% de humedad, puede esperarse un incremento del 10% en la - eficiencia de la caldera.

El sistema completo de un secador de este tipo con ventilador propio, instrumentos y controles, motores y llaves de aire, etc., tiene un precio de adquisición (sin instalación) de aproximadamente \$ 700 000.- U.S. DLS. (precio de junio de 1980).

El secador más económico que se recomienda, es ---



aquel que se le conecta el gas directo para el secado y se diseñan los calentadores de aire de la caldera después.

El porcentaje de eficiencia (aproximadamente 3%) que se pierde por el aire frío que va a la caldera, es menor que el que en comparación ganará la caldera por quemar aproximadamente bagazo con 40% de humedad, (la ganancia es aproximadamente del 7%).

3.1.1.4.- VENEZUELA.- El sistema de almacenamiento seco de Tableros Aglomerados, ha sido perfeccionado después de muchas investigaciones a través de una planta piloto (3.4).

El bagazo se desmedula, se seca artificialmente y por último, se le aplica una gran presión por medios hidráulicos, saliendo de esta manera grandes esteras con una densidad de 160 a 200 Kg/m<sup>3</sup>.

Las esteras permanecen limpias y flexibles en el almacén, hasta que se llevan al molino.

3.1.1.5.- JAMAICA.- Aquí la fibra completamente desmedulada se seca un 90% y se lleva a un banco de briqueteado o máquinas para hacer pellets, (3.4).

Los pellets o Briquetas se comprimen hasta tener una densidad de 480 Kg/m<sup>3</sup>., tienen forma rectangular con dimensiones de 4 por 1.5 pulgadas y una longitud de 2 a 4 pulgadas. Se almacenan en bultos; antes de ser utilizados, se va-

cían en un canal y se lavan con un chorro de agua.

3.1.1.6.- INGENIO ZACATEPEC, MEXICO.- Cuenta con un secador neumático directo para bagacillo de caña (3.5), cuyo diagrama se muestra en la figura 3.2.

El secado se efectúa por contacto directo del bagacillo con una mezcla de gases de combustión y aire. El combustible que se utiliza es diesel.

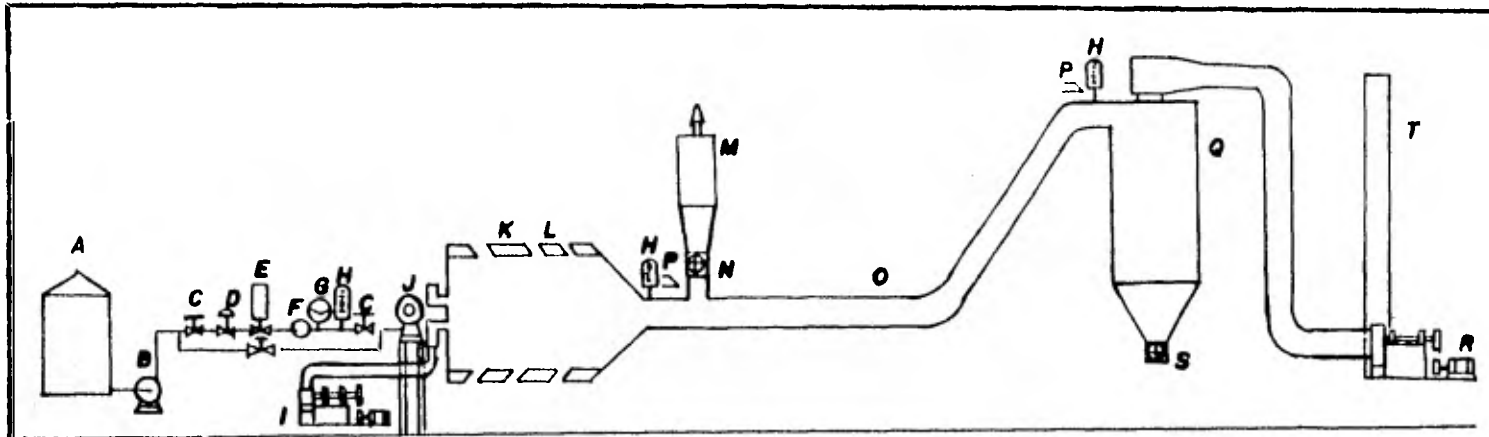
Los gases provenientes del quemador (j) entran a la cámara de combustión (k) donde se mezclan con aire que llega de las entradas radiales (l) para bajar la temperatura de dichos gases antes de entrar en contacto con el bagacillo.

El bagacillo húmedo pasa a través de un separador ciclónico (m) y se introduce al sistema por medio del alimentador (n).

La corriente de gases arrastra el bagacillo dentro del ducto (o) el tiempo necesario para el secado. Al final del recorrido se separan en otro separador ciclónico (q).

El bagacillo seco se recibe por el descargador (s) mientras que los gases y el vapor producido se inducen a la chimenea (t) para depositarlos en la atmósfera.

El sistema seca 100 ton/24 Hrs. y se considera aceptable una humedad residual del 10% sobre base seca.



A.-tanque de combustible  
 B.-bomba  
 C.-válvula de compuerta  
 D.-válvula registradora de presión  
 E.-válvula de operación eléctrica  
 F.-medidor de flujo  
 G.-manómetro  
 H.- termómetro  
 I.- ventilador para aire de combustión  
 J.- quemador

K.- cámara de combustión  
 L.- entrada de aire  
 M.- separador de bagacillo húmedo  
 N.- alimentador  
 O.- ducto secador  
 P.- termopar  
 Q.- separador de bagacillo seco  
 R.- ventilador de chimenea  
 S.- descargador  
 T.- chimenea

67

SECADOR DE BAGACILLO DE CAÑA

Fig. 3.2

3.1.1.7.- Secador de acción o circulación atravesadora (3.6).

Consiste en un secador que utiliza los gases de la combustión de las calderas usadas para la producción del vapor en los ingenios.

Es una caja de 26 m. de largo por 1.8 de ancho y 1.5 de altura, hecho de lámina de 1/8 de pulgada.

Tres ventiladores se encargan de inducir el flujo de gases por sendos tubos al secador. El bagazo viaja a través del secador por medio de una banda transportadora formando un colchón de 13.6 cm.

El secador tiene una capacidad de 678 Kg/min. (976 - ton/día) y reduce un 10% de humedad.

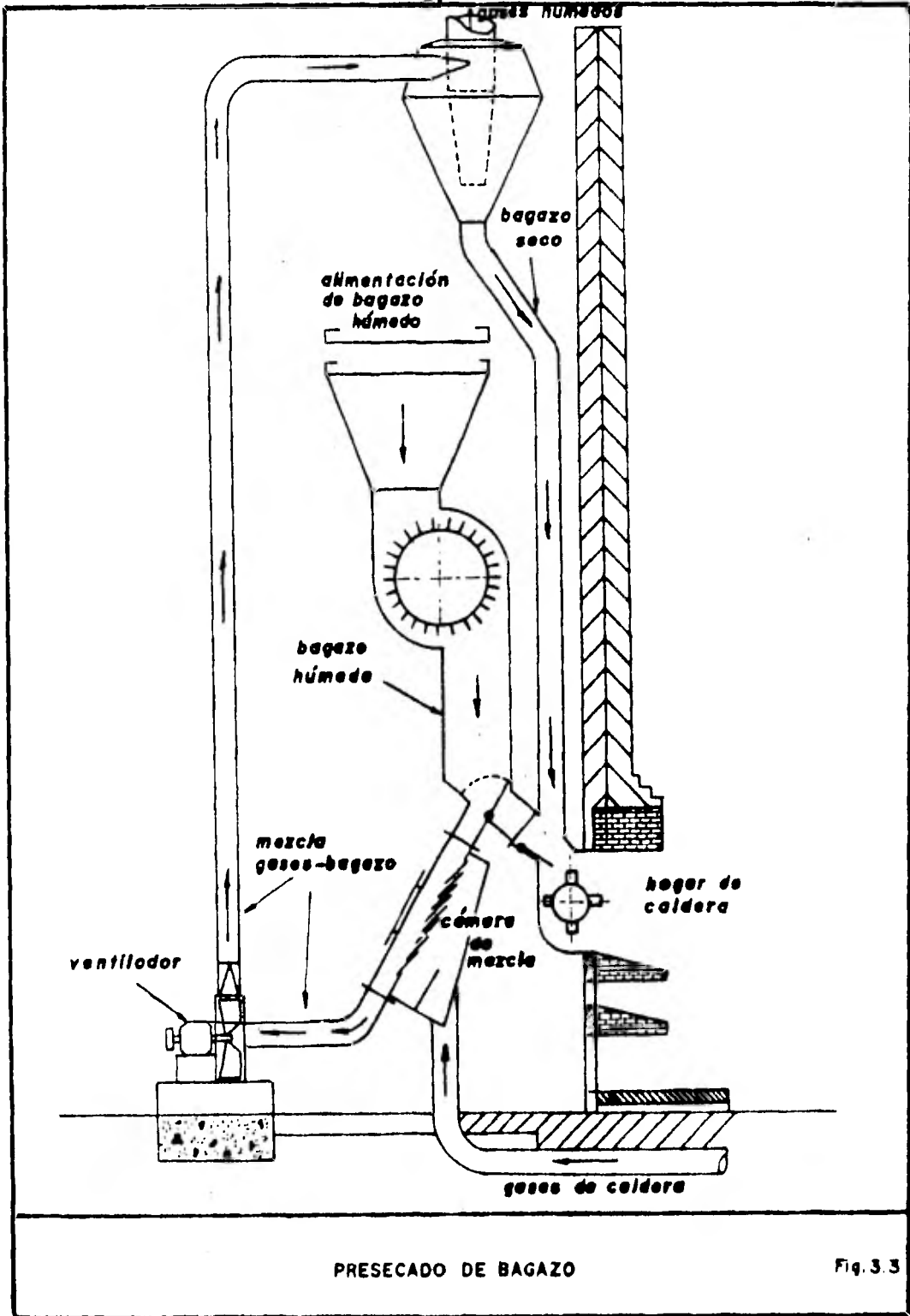
3.1.1.8.- Presecado de bagazo (3.7)

Es un sistema que aprovechando los gases de la chimenea, disminuye la humedad del bagazo en 10 ó 15%, incrementando la generación de vapor entre 13.5 y 15.45%.

Consta de un secador para cada horno y consume el 54% de la potencia por tonelada de bagazo seco en relación con otros equipos existentes (Fig. 3.3).

3.1.1.9.- Secador Rotativo Rader-Thompson (3.8).

De reciente introducción en el mercado es este seca-



PRESECADO DE BAGAZO

Fig. 3.3

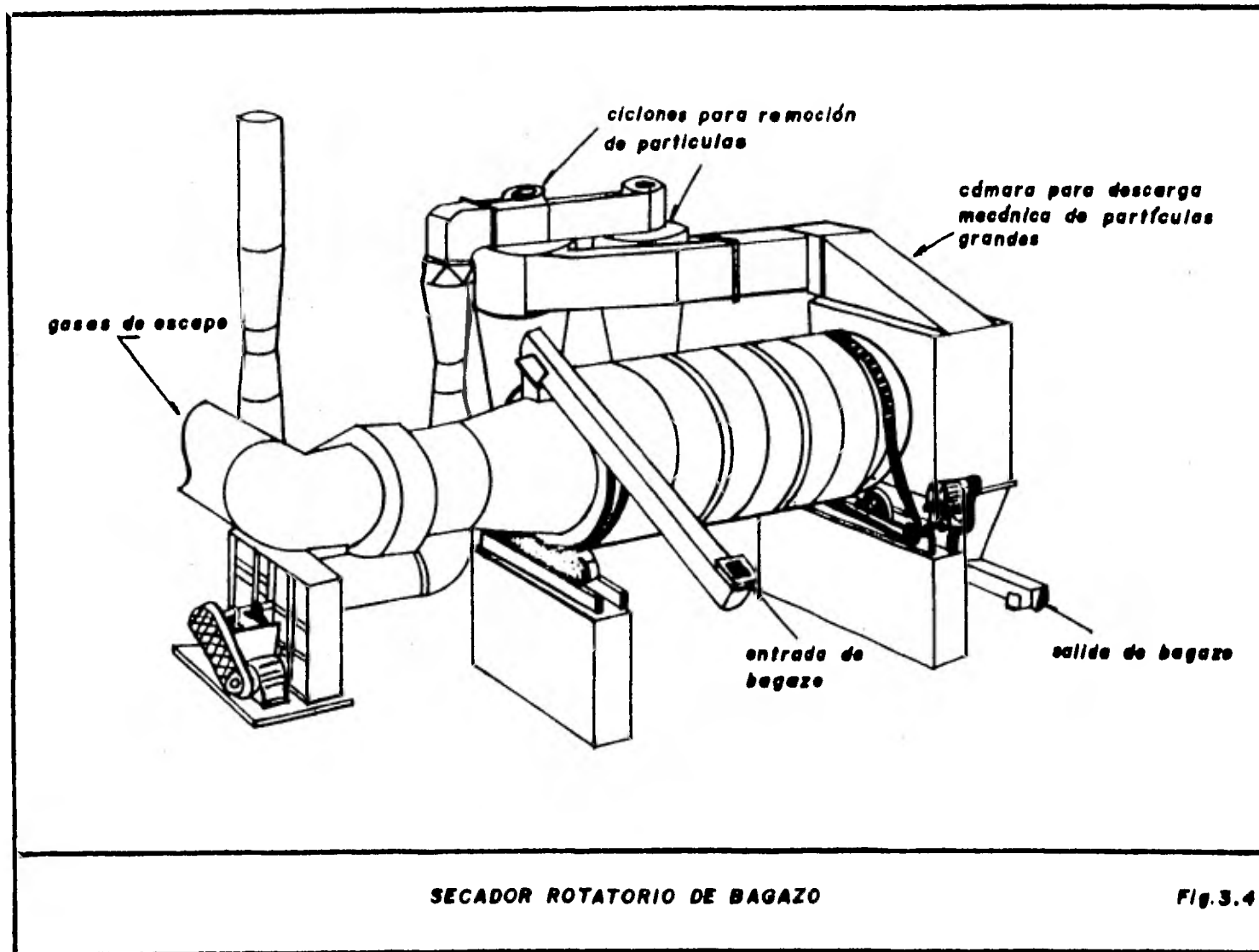
dor fabricado por BULK MATERIALS HANDLING, según el cual se necesita de 1200 a 1300 BTU de calor para evaporar una libra de agua, dando de 20 a 40% de eficiencia más que los secadores convencionales. Está diseñado especialmente para secar bagazo y puede usarse con gases de escape o con flama directa, incrementando la eficiencia de la caldera en un 10% o más. El secador cuenta con un novedoso sistema de paletas en su interior, para mejor distribución del bagazo y facilitar su secado.

El sistema seca partículas de diferentes tamaños a un contenido uniforme de humedad sin riesgo de ignición del material. La figura 3.4 muestra el equipo con todos sus dispositivos.

#### 3.1.1.10.- Otros tipos de secadores de bagazo.

3.1.1.10.1.- Prensas de Bagazo.- Aunque el objeto principal de estas máquinas es la recuperación de sacarosa en materiales fibrosos; se reportan también descensos considerables de humedad en bagazo, hasta un 47% (3.9).

3.1.1.10.2.- Sistema de combustión para encender el bagazo pulverizado (3.10). Recientemente se llevó a cabo un experimento de encendido de bagazo pulverizado en el que se utilizó un sistema consistente en un horno, un sistema de aire de combustión, un sistema de gases de combustión y un sistema de quemador de pulverizado. Una ecuación da la fracción



SECADOR ROTATORIO DE BAGAZO

Fig.3.4

del valor de calentamiento de los combustibles usados. En este primer experimento se utilizó bagazo muy seco del tamaño - de malla 60 y brindó una flama automantenida, ayudada con gas natural. En próximos experimentos se probarán otros tipos de quemadores así como bagazo con distintos contenidos de humedad y partículas de diferentes tamaños. Cuando se adapte al bagazo húmedo, la ecuación de fracción de calentamiento, brindará un análisis para la combustión de bagazo en los niveles variables del contenido de humedad.

### 3.1.2.- DEMANDA Y FUENTE ENERGETICA (3.11).

Como los precios del petróleo han estado subiendo - rápidamente y varias tecnologías nuevas sobre el aprovechamiento del bagazo han sido desarrolladas durante las últimas décadas, la industria de la caña de azúcar se ha visto forzada a mejorar su eficiencia térmica.

Todos los ingenios queman además del bagazo otros - combustibles. Esto no sería necesario, si se cuenta con el - equipo indicado y si se aplican las tecnologías apropiadas.

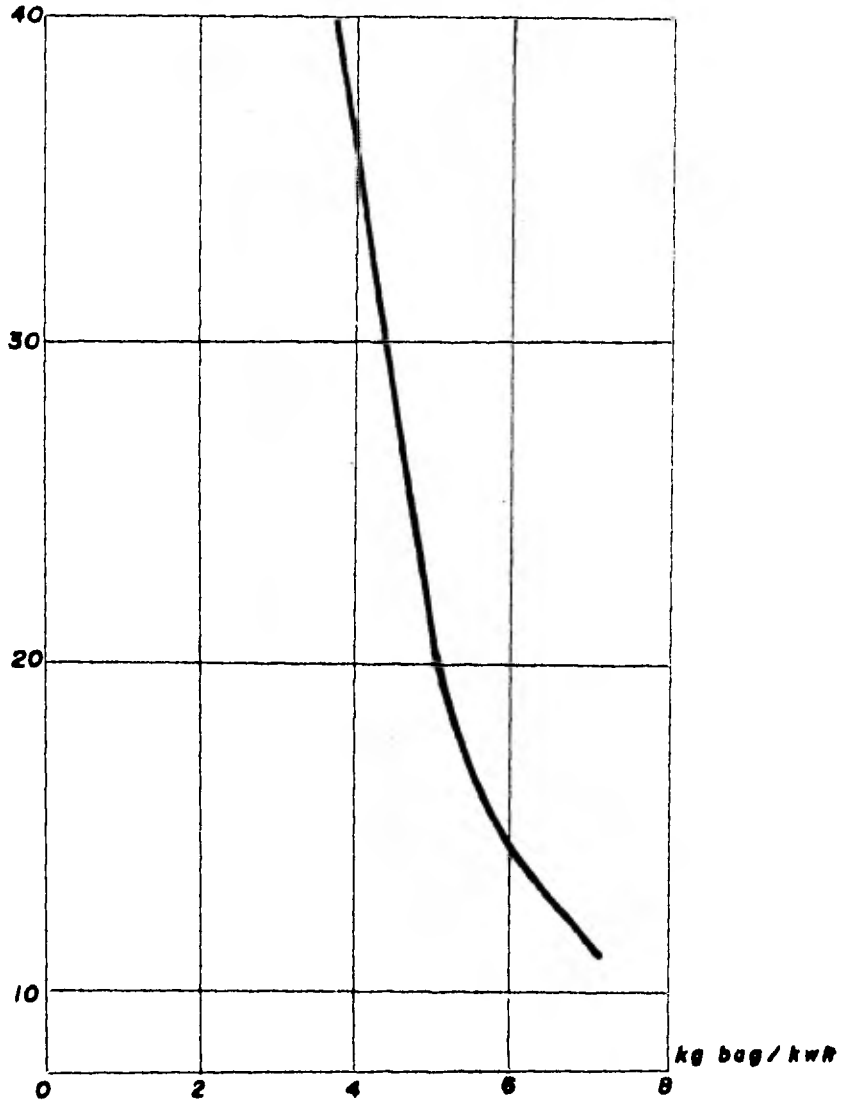
Entre más altas sean la presión y la temperatura -- del vapor, mejores son las posibilidades para un buen balance térmico de la fábrica.

En la Fig. 3.5 se muestra cuanto bagazo, con 50% de humedad y YCN de 1800 Kcal/Kg., se necesita para generar un - kWh a diferentes presiones de vapor vivo con 120°C de sobrecarga



presión de vapor

(bar)



GRAFICA DE VAPOR GENERADO POR Kg DE  
BAGAZO POR Kw PRODUCIDO

Fig.3.5

lentamiento y expandiéndose a 2.5 bar, si se tiene una caldera con eficiencia del 80% y alimentación de agua a la misma con - 95°C.

Se puede observar que a una mayor presión el consumo específico de bagazo (Kg. de bagazo/KWh producido) es menor, - pero entre más alta es la presión más cuidado es necesario en el tratamiento y vigilancia del agua de alimentación de la caldera.

Sin embargo, cuando se tiene ya una instalación vieja y se carece del capital para un equipo nuevo, queda la alternativa de secar el bagazo.

Existen varias maneras de secar el bagazo con gases de combustión. El gasto de energía mecánica para ventiladores, conductores, etc., varía entre 0.008 y 0.015 KWh/kg bag.

Cuando se seca de 54 a 40% de humedad. Tomando el valor más desventajoso que da un superavit de energía de:

$$0.06 - 0.015 = 0.045 \text{ KWh/kg bag.}$$

Esto significa que con una mollienda de 100 ton/hr. (aproximadamente 30 ton. de bagazo) se obtiene una producción adicional de 1350 KWh. El calor perdido en la chimenea de un ingenio, lleva una temperatura de 572°F (300°C). Este calor puede ser recuperado en parte, usando un secador de bagazo o un sistema de tal como los economizadores o los precalentadores (3.12).

En la tabla 3.1 se muestra el calor perdido a 572°F y el calor perdido cuando se recupera algo de él (300°F).

Se puede ver que se recupera suficiente calor para generar el 20% más de vapor, o sea que se recuperan 45 538 -- BTU/lb. de bagazo quemado.

Existen tres posibilidades principales para la recuperación de energía, que son:

- 1.- Uso de economizadores para la alimentación de agua a la caldera.
- 2.- Uso de precalentadores de aire para mejorar la combustión.
- 3.- Uso de secadores de bagazo.

Economizadores:

En las calderas de Lousiana se obtiene vapor saturado a 150 psfg. y la temperatura de los gases en la chimenea es de 366°F. Si la temperatura del agua de alimentación está a 180°F y el límite de los economizadores es de 50°F por debajo de la temperatura de la cámara principal se tiene agua de alimentación de:

$$366 - 180.50 = 136^{\circ}\text{F}$$

Por lo tanto el calor absorbido por el agua será:

$$Q = M C_p \Delta T = (273.47) (1) (136) = 37\ 192\ \text{BTU.}$$

Que corresponde al 82% del calor necesario para que los gases en la chimenea tengan 300°F.

Pre calentador de aire.

El incremento de temperatura necesario para obtener una energía de 45 538 BTU está dado por:

$$\Delta t = q / CpM \dots (a)$$

Tomando como límite la temperatura ambiente, 30°C (85°F); sustituyendo en (a)  $T = 45\,538 / (423.28 \times 0.24) = 448^\circ\text{F}$  y si:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 572 - 85 = 487 \text{ }^\circ\text{F} = \text{máximo } \Delta T \text{ posible.}$$

Entonces es posible utilizar un pre calentador para que los gases de la chimenea salgan con una temperatura de -- 300 °F.

Secado de bagazo.

La facilidad para absorber calor por el bagazo es -- dos veces mayor que la facilidad para secarlo. Se tiene entonces:

$$Q = M\lambda \quad \text{donde: } \lambda = \text{calor latente de vaporización del bagazo (1000 BTU/lb)}$$

$$M = Q / \lambda = 45\,538 / 1000 = 45.54$$

Por lo tanto, si se reduce la humedad al 48% puede obtenerse en la chimenea una temperatura de 300 °F.

TABLA 3.1

	Temperaturas de los gases = 572° F		Temperaturas de los gases = 300° F	
	Btu/lb de bag.	%	Btu/lb de bag.	%
Calor aumentado al vapor	227 934	53.57	273 472	64.06
Calor en gases de combustión	46 521	10.93	20 538	4.83
Calor en aire excedente	24 342	5.72	10 746	2.53
Calor eliminado por la humedad del bagazo (latente)	82 008	19.27	82 008	19.27
Calor sensible eliminado por la humedad del bagazo	10 669	2.51	4 710	1.11
Radiación y pérdidas indeterminadas	34 041	8.00	34 041	8.00
T O T A L	425 515	100.00	425 515	100.00
Producción de vapor ---- (1000 Btu/lb)		227.93		273.47
Incremento en la producción de vapor		0%		20%

Existe un incremento de calor en el vapor de 46 538 Btu/lb.

TABLA 3.1

Temperaturas de los gases = 572° F      Temperaturas de los gases = 300° F

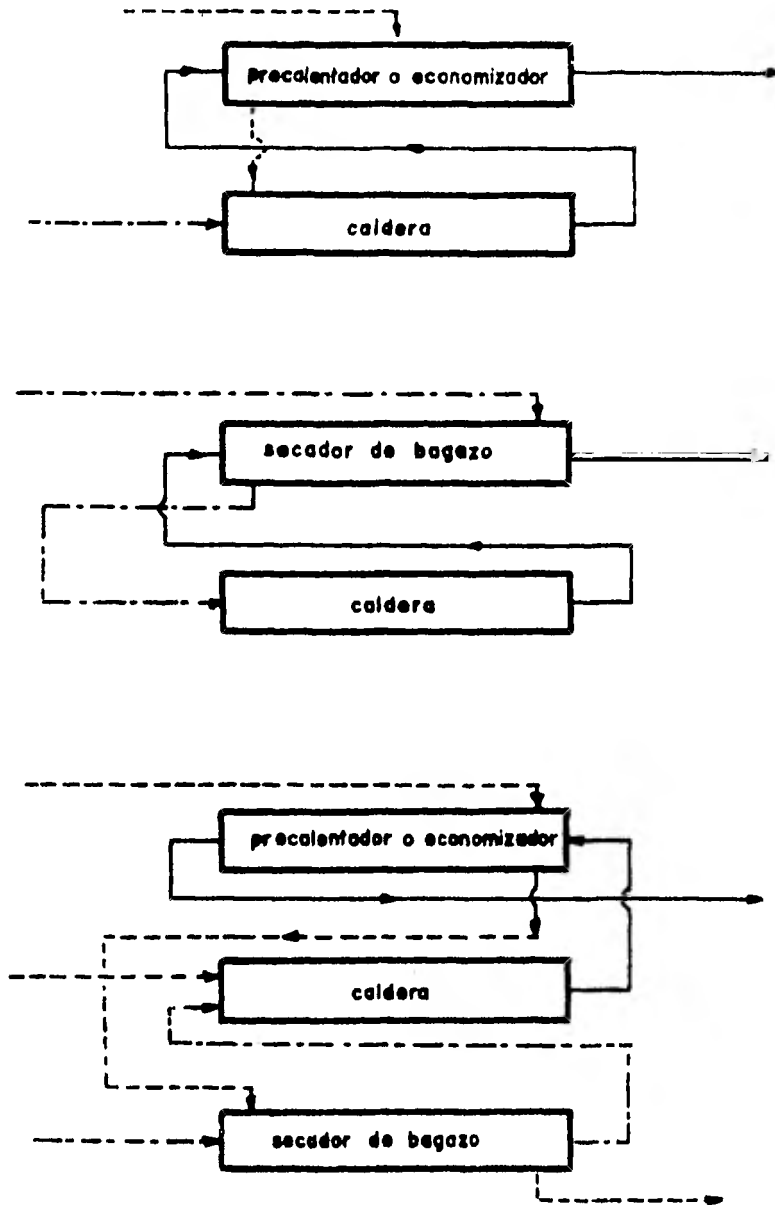
	Btu/lb de bag.	%	Btu/lb de bag.	%
Calor aumentado al vapor	227 934	53.57	273 472	64.26
Calor en gases de combustión	46 521	10.93	20 538	4.83
Calor en aire excedente	24 342	5.72	10 746	2.53
Calor eliminado por la humedad del bagazo (latente)	82 008	19.27	82 008	19.27
Calor sensible eliminado por la humedad del bagazo	10 669	2.51	4 710	1.11
Radiación y pérdidas indeterminadas	34 041	8.00	34 041	8.00
<b>T O T A L</b>	<b>425 515</b>	<b>100.00</b>	<b>425 515</b>	<b>100.00</b>
Producción de vapor ---- (1000 Btu/lb)	227.93		273.47	
Incremento en la producción de vapor	0%		20%	

Existe un incremento de calor en el vapor de 45 538 Btu/lb.

### 3.1.3).- OPINIONES ENCONTRADAS.

No obstante las múltiples sugerencias para el secado del bagazo, algunas opiniones son contrarias a éstas. Tal es el caso del estudio realizado por el National Sugar Institute en Kanpur, India (3.18), según el cual la energía procedente de los gases de escape de la caldera, puede utilizarse en precalentadores de aire y/o economizadores con la misma eficiencia que en el secador de bagazo.

Este análisis presenta tres diferentes arreglos ---- (Fig. 3.6) en cuyos respectivos balances de energía se obtienen eficiencias térmicas similares con el agravante de que ni los precalentadores de aire ni los economizadores requieren de movimiento, como es el caso de los secadores, y su mantenimiento es menos costoso en comparación con estos últimos.



BALANCES COMPARATIVOS DE ENERGIA

Fig.3.6



### 3.1.4.- SECADORES.

En la bibliografía especializada, se describen muchos tipos de secadores comerciales, dentro de los cuales, -- los más importantes pueden clasificarse en función de que a) el material sea un sólido rígido o granular, una pasta semisólida o una solución o suspensión. b) que el material se agite o no durante el secado; y c) que la operación se haga por cargas o de manera continua.

Existe aún otra división entre secadores de contacto directo, en los cuales, los sólidos se secan por exposi---ción a aire caliente o a gases de combustión. En los secadores de contacto indirecto, el calor se transmite al material desde un medio de calefacción, a través de una pared metálica.

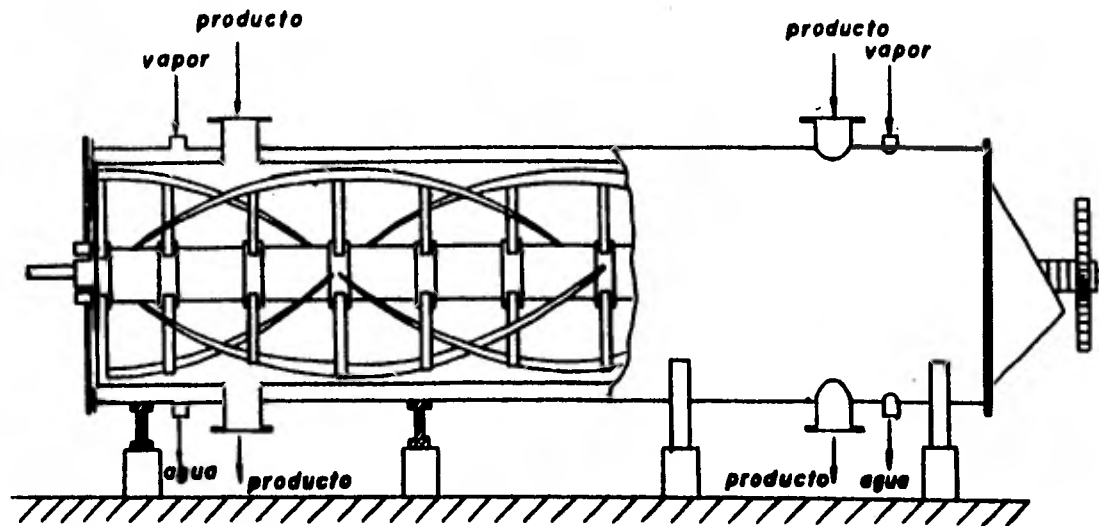
Algunos de los más conocidos, se describen brevemente a continuación.

#### Secador Agitado Mecánicamente.

Se usa para materiales muy pegajosos (Fig. 3.7).

#### Secador de Evaporación Súbita.

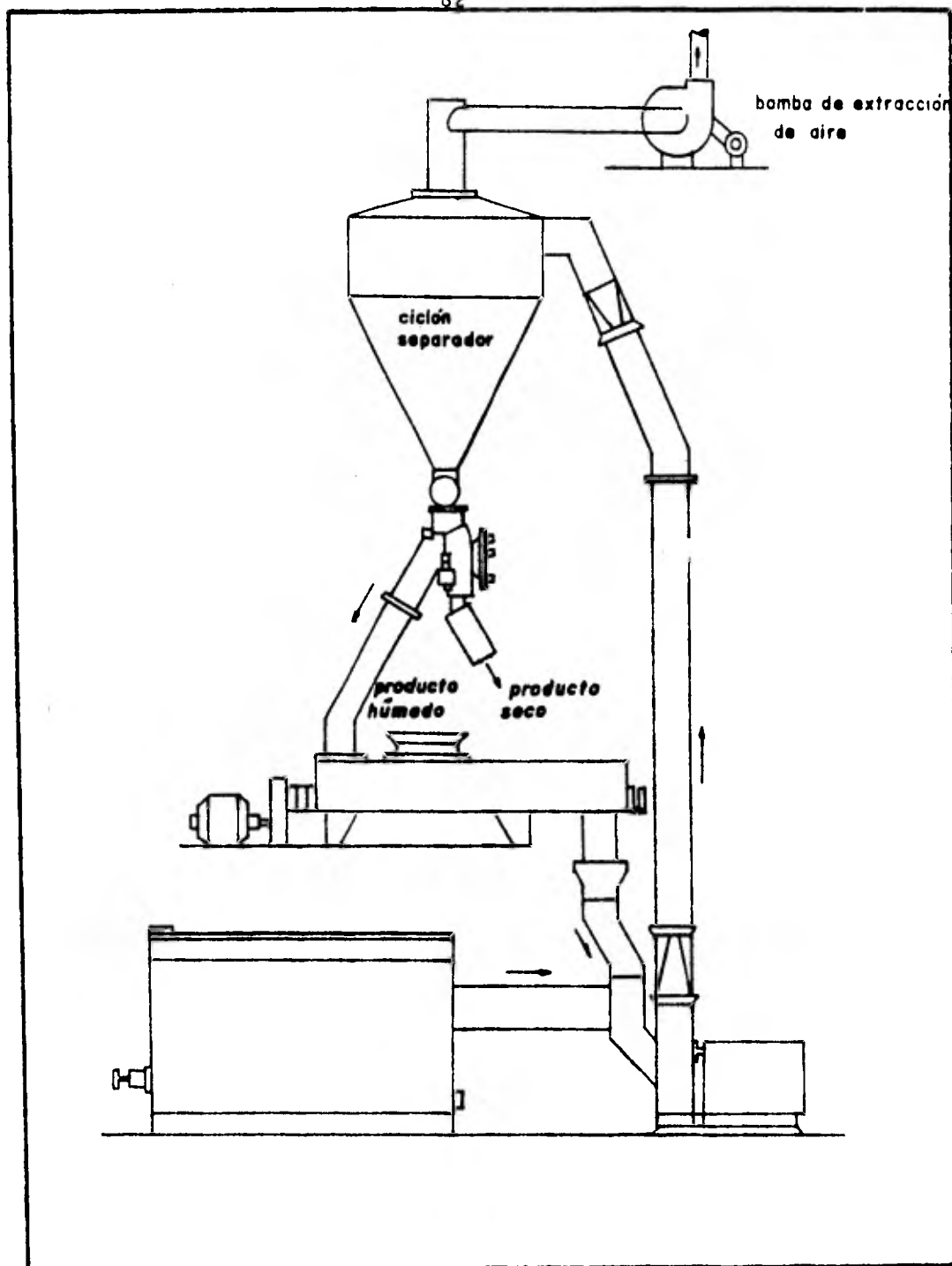
También llamado de "flash", transporta un sólido húmedo pulverizado dentro de una corriente de gases calientes. Comúnmente se usan temperaturas de 600°C, pero como el secado es muy rápido, el material alcanza sólo unos 40°C (Fig. 3.8).



81

SECADOR AGITADO MECANICAMENTE

Fig. 3.7



**SECADOR DE EVAPORACION SUBITA**

**Fig.3.9**

Secador de Bandejas discontinuo.

Recomendables para ritmos de trabajo de 25 a 50 Kg/hr. de producto seco. En virtud de la discontinuidad en la carga, resulta muy costosa su operación (Fig. 3.9).

Secador de compartimentos al vacio.

El agua contenida en el material que se coloca en las bandejas se evapora a la presión que existe en el secador (Fig. 3.10).

Turbosecador.

Varios ventiladores dispuestos en la flecha central provocan corrientes de aire que circula através de las bandejas (Fig. 3.11).

Secador de Cinta Transportadora Perforada.

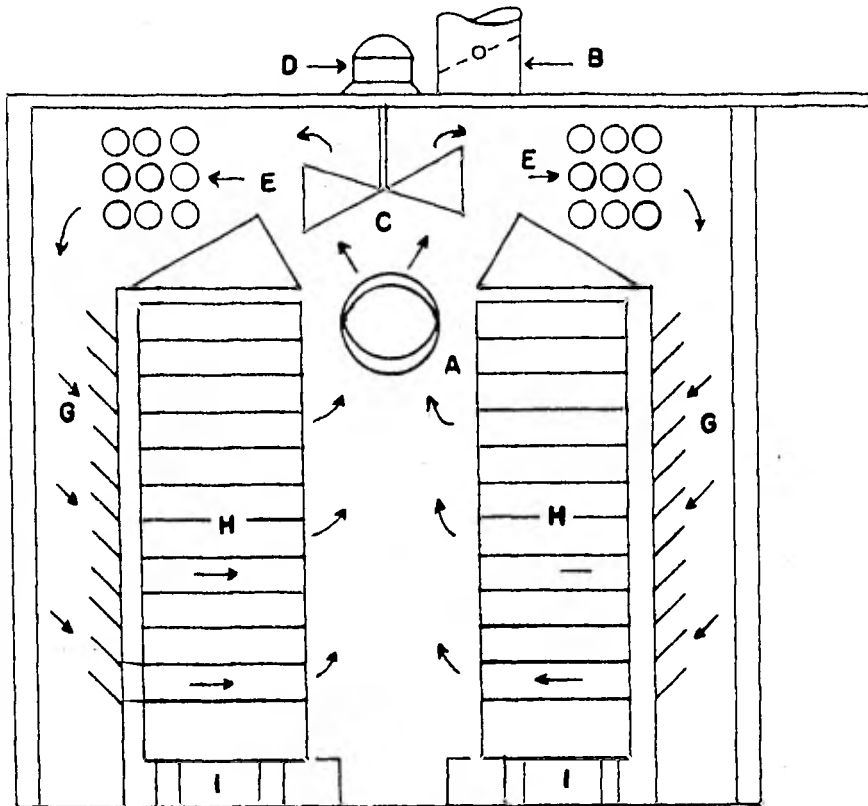
La capa del material se transporta sobre la cinta a través de un tunel o cámara de secado (Fig. 3.12).

Secador de Festón.

Utilizados principalmente con tejidos y algunas clases de papel, así como para imprimir fotograbados (Fig. 3.13).

Secador de Torre

Formado por una serie de bandejas circulares montadas unas encima de otras sobre un eje giratorio. La alimenta-

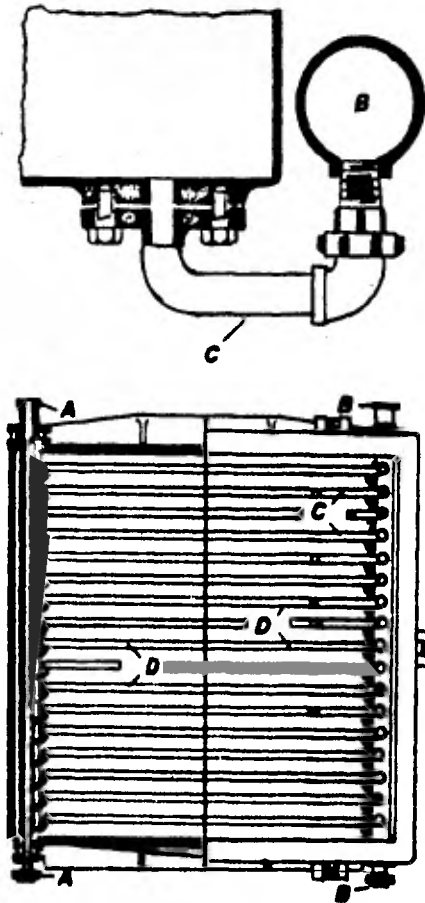


- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| A.- Abertura           | E.- Calentadores     |
| B.- Conducto de salida | G.- Tubiques         |
| C.- Ventilador         | H.- Bastidores       |
| D.- Motor              | I.- Soportes móviles |

SECADOR DE BANDEJAS

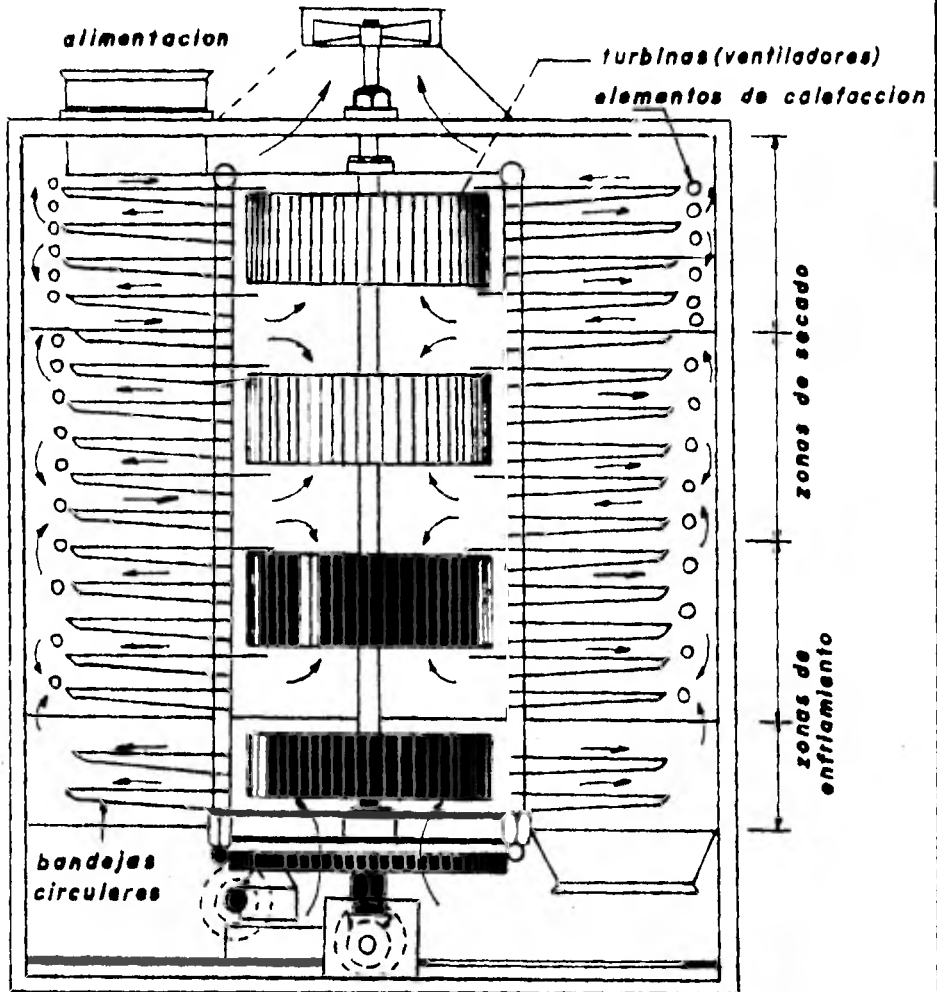
Fig. 3.9

A- tubería de entrada del vapor de agua  
B- tubería de salida del condensado  
C- conexiones de las estanterías con las tuberías  
D- estanterías



SECADOR DE VACIO

Fig.3.10

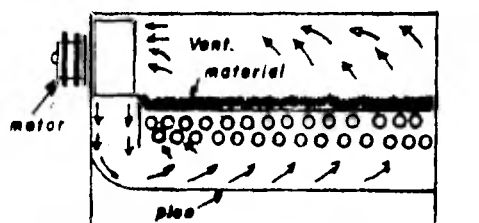


TURBOSECADOR

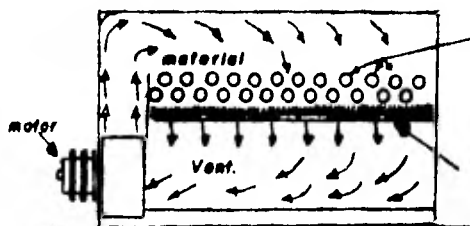
Fig.3.11



(a) Recorrido del lecho permeable de partículas a través de un secador de circulación transversal de tres unidades.

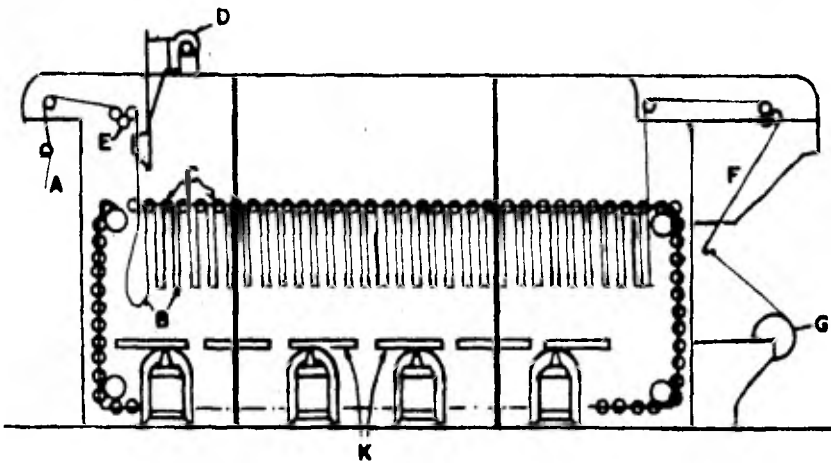
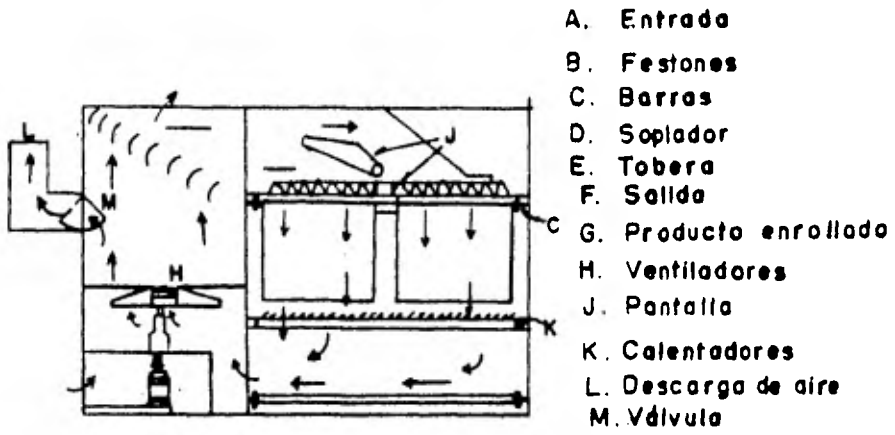


(b) Flujo de aire en el extremo húmedo.



(c) Flujo de aire en el extremo seco.





SECADOR DE FESTON

Fig. 3.13

ción del sólido está expuesta durante corto tiempo a una corriente de gases calientes que pasan a través del mismo.

#### Combinación Filtro Secador.

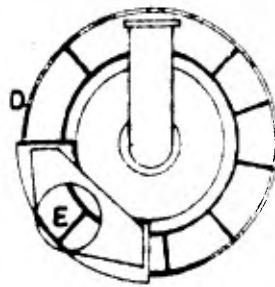
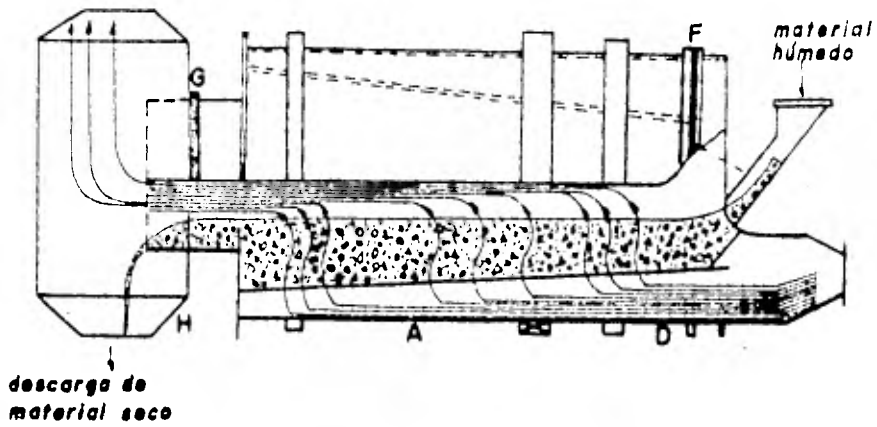
Cuando se requiere eliminar un sólido en suspensión en un líquido por medio de filtración, conocido como filtro - continuo rotativo.

#### Secador Roto Louvre

Del tipo rotatorio, compuesto por un tambor dentro del cual van montados un conjunto de aletas superpuestas. Se utiliza mucho para materiales finos como el azúcar granulada. (Fig. 3.14).

Las partes principales de este secador son:

- A.- Envolvente cilíndrica
- B.- Aletas
- C.- Costillas
- D.- Cámara de distribución de aire caliente
- E.- Entrada de aire caliente.
- F.- Cierre rotativo
- G.- Cierre rotativo.
- H.- Descarga del producto.



SECADOR ROTO LOUVRE

Fig.3.14

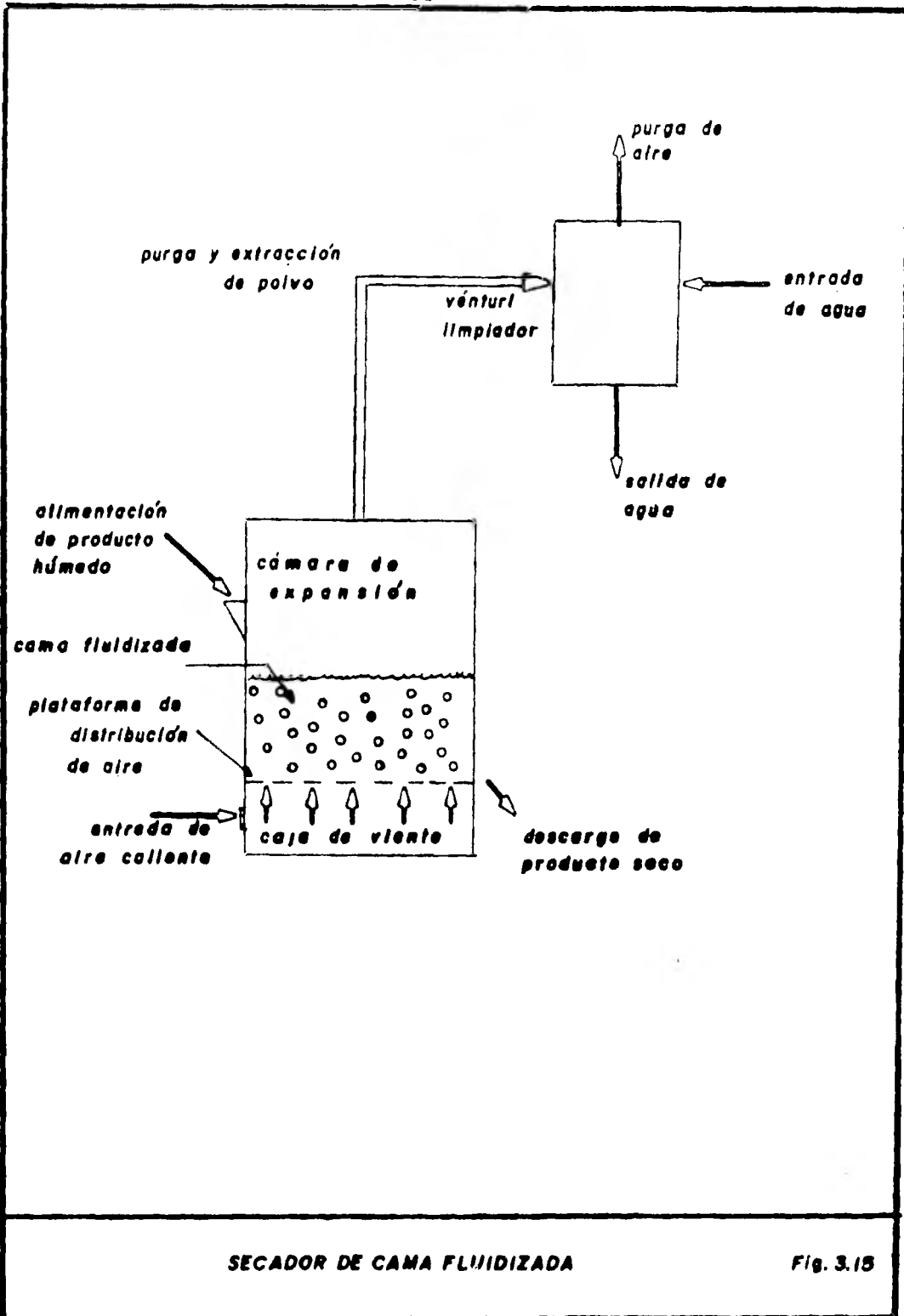
## SECADOR DE CAMA FLUIDIZADA (3.13)

La siguiente descripción corresponde a un secador de azúcar de cama fluidizada utilizado por la firma SMITH - - - SUGAR'S GLEDHOW.

Una cama de material húmedo es atravesada por aire caliente, provocando que se expanda, hasta que a cierta velocidad, las partículas de la cama se separen unas de otras y se suspendan individualmente en el flujo de aire. De esta manera, todo el material está en contacto directo con el aire o gases calientes, obteniéndose una mayor ventaja en el secado. Hay dos tipos de secado por cama fluidizada: la cama de mezcla perfecta, en el cual la alimentación da directamente sobre el colchón del material fluidizado; y la cama de flujo en la cual la entrada del material se hace para que siga un flujo determinado por medio de mamparas colocadas estratégicamente. En la figura 3.15 se muestra un diagrama esquemático de un secador de cama fluidizada.

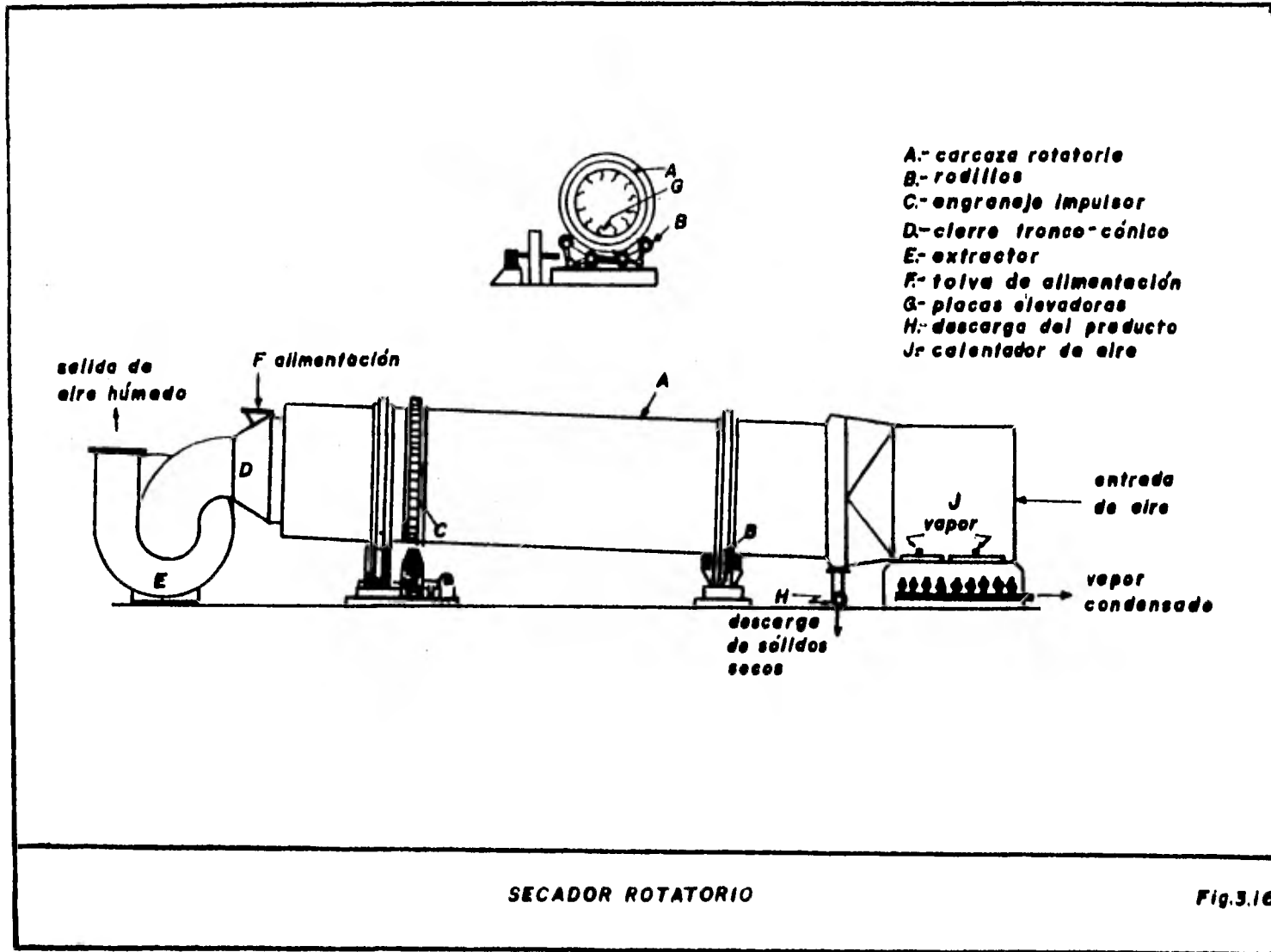
## SECADOR ROTATORIO (3.14)

Un secador rotatorio está formado por una carcasa giratoria cilíndrica horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. La alimentación húmeda se introduce por un extremo del cilindro y el producto seco descarga sobre el otro. Cuando gira la carcasa, unas placas elevan los sólidos y los esparcen en el interior de la misma. Los secadores rotativos



se calientan por contacto directo de aire o gases con el sólido, por medio de gases calientes que circulan a través de un encamisado que recubre la carcaza, o por medio de vapor que condensa en un haz de tubos longitudinales que se montan en la superficie interna de la carcaza.

En la figura 3.16 se representa un secador calentado por aire, de contacto directo en contra corriente. Una carcaza rotatoria A, construída en chapa de acero, está montada sobre dos grupos de rodillos B y se acciona por medio del engranaje y el piñón C. En el extremo superior se encuentra un cierre troncónico D que, por una parte, está conectado a la chimenea, a través de la soplante E, y por otra, con el sistema de alimentación que introduce el material húmedo por el tubo F. Las placas G que elevan el material y lo esparcen sobre la corriente de aire seco, están soldadas a la pared interior de la carcaza. El producto seco sale por el extremo inferior mediante un transportador de tornillo H. Inmediatamente antes que éste, se encuentra una bancada de tubos con aletas, calentados con vapor, para precalentar el aire. Este se mueve dentro del secador por medio de una soplante que, si se desea, puede estar situada en la entrada del calentador de aire, de modo que todo el sistema esté sometido a una sobre-presión. La soplante puede colocarse también en la chimenea, como se indica en la figura, de forma que extraiga el aire del secador y mantenga el sistema con una depresión moderada. Los secadores rotatorios de esta clase se em



plean ampliamente para secar sal, azúcar y toda clase de materiales granulares o cristalinos que deben mantenerse limpios.

La velocidad másica de gas permisible en un secador rotatorio de contacto directo depende de la formación de polvo a que dé lugar el sólido que se seca y fluctúa entre - - -  $2 \text{ Tm/hrm}^2$  para las gruesas y pesadas. El diámetro de los secadores varía de 0.3 a 4 m.

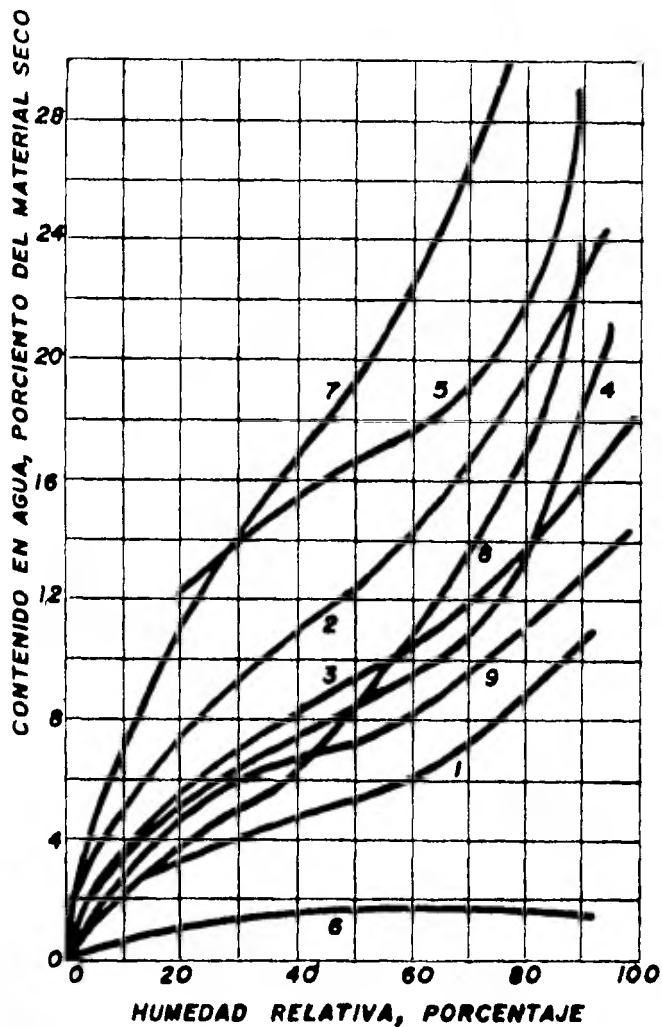
### 3.1.5.- TEORIA DEL SECADO.

Si un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de aire de temperatura y humedad constante, en tal cantidad que las condiciones de la corriente no varíen, y además el tiempo de contacto sea lo suficientemente largo para que se alcance el equilibrio, el sólido alcanzará un contenido de humedad definido que ya no cambiará. Esto se conoce como humedad de equilibrio del material a las condiciones especificadas. El contenido de humedad depende del sentido en que se alcance el equilibrio. Se obtiene un valor diferente según que una muestra húmeda se seque (desorción) o que una muestra seca se humedezca (absorción).

Existen gráficas de humedad de equilibrio para cada material en función de la humedad relativa del fluido secador, como los mostramos en la figura 3.17.

Si estas curvas se continúan hasta que corten el eje del 100% de humedad, el contenido de humedad así definido, es





- 1.-papel, impresión de periódicos  
 2.-lana, estambre  
 3.-nitrocelulosa  
 4.-resaca  
 5.-cuero, suela, tenino de rabia  
 6.-caolín  
 7.-n.c. hojas de tabaco  
 8.-jabón  
 9.-cola

CURVAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO  
 PARA 25°C

Fig.3.17

la menor humedad que este material puede contener. De esta forma podrá continuar ejerciendo una presión de vapor tan elevada como la ejercida por el agua líquida a la misma temperatura. Si el material contiene más agua que la indicada por esta intersección, este material puede dar la presión de vapor del agua a la temperatura dada.

Esto hace que sea posible la distinción entre dos tipos de agua, contenidos en una sustancia dada.

El agua por encima de la menor concentración que está en equilibrio con el aire saturado se denomina agua combinada o ligada, debido a que ejerce una presión de vapor menor a la del agua líquida a la misma temperatura. Las sustancias que contienen agua combinada, se denominan higroscópicas.

El agua no combinada, por otro lado, ejerce la totalidad de la presión que puede efectuar.

El contenido de humedad libre es la humedad contenida en una muestra por encima del contenido de humedad de equilibrio. Puesto que el contenido de humedad de equilibrio es el límite hasta el que puede secarse un material bajo una serie de condiciones determinadas, la humedad que contenga por encima de este punto, es la humedad que puede extraerse por el proceso de secado no el contenido total de humedad (3.15)

Para estudiar el mecanismo de secado en condiciones constantes, es útil representar la velocidad instantánea de -

secado en Kg. de agua retirada por hora y metro cuadrado de --  
área de secado, en función de la humedad libre instantánea, -  
en Kg. de agua por Kg. de sólido seco.

Cada curva de velocidad de secado, tiene por lo me--  
nos dos segmentos distintos. Después de un período inicial  
durante el cual se ajusta la temperatura del material a las -  
condiciones de secado, cada curva tiene un segmento horizon--  
tal que pertenece al primer período de secado, llamado perío--  
do de velocidad constante.

Al disminuir la humedad del sólido, se alcanza un --  
cierto valor para el cual termina el período de velocidad ---  
constante y comienza a disminuir la velocidad de secado.

El punto donde termina el período de velocidad cons--  
tante, se llama punto crítico.

El período que le sigue se conoce como velocidad de--  
creciente (3.14)

### 3.1.6.- DISEÑO DE UN SECADOR ROTATORIO

Por las características de diseño y operación de los secadores antes descritos, proponemos la utilización de un secador rotatorio para el secado de bagazo, tomando en consideración los siguientes puntos:

- 1).- Los secadores rotatorios trabajan con grandes cargas continuas.
- 2).- Pueden utilizarse grandes velocidades máscas (hasta 50,000 Kg/hr. m<sup>2</sup>) sin producir arrastre de polvos.
- 3).- Los secadores rotatorios de contacto directo - permiten una mejor transferencia de calor y -- temperaturas relativamente elevadas (140-600°C)
- 4).- Pueden utilizarse aire caliente, o gases de escape.
- 5).- Dado el tamaño de las partículas del bagazo, - pueden ser arrastradas fácilmente por paletas.
- 6).- La alimentación del producto se hace por gravedad, sin requerir de dispositivos especiales.

Para nuestro estudio, consideramos una carga de bagazo de 12 Ton/hr. (justificadas en 3.2.5.1) que se secarán, -- por medio de los gases de escape de las calderas, de 51% a --

41% de humedad.

Los gases de escape serán producto de la combustión de bagazo y gas natural (70 y 30% respectivamente) con un exceso de aire de 38%.

Con el propósito de aumentar la eficiencia en la --- transferencia de calor dentro del secador, decidimos el uso - de dos secadores con las siguientes alternativas:

a).- Secadores en paralelo.

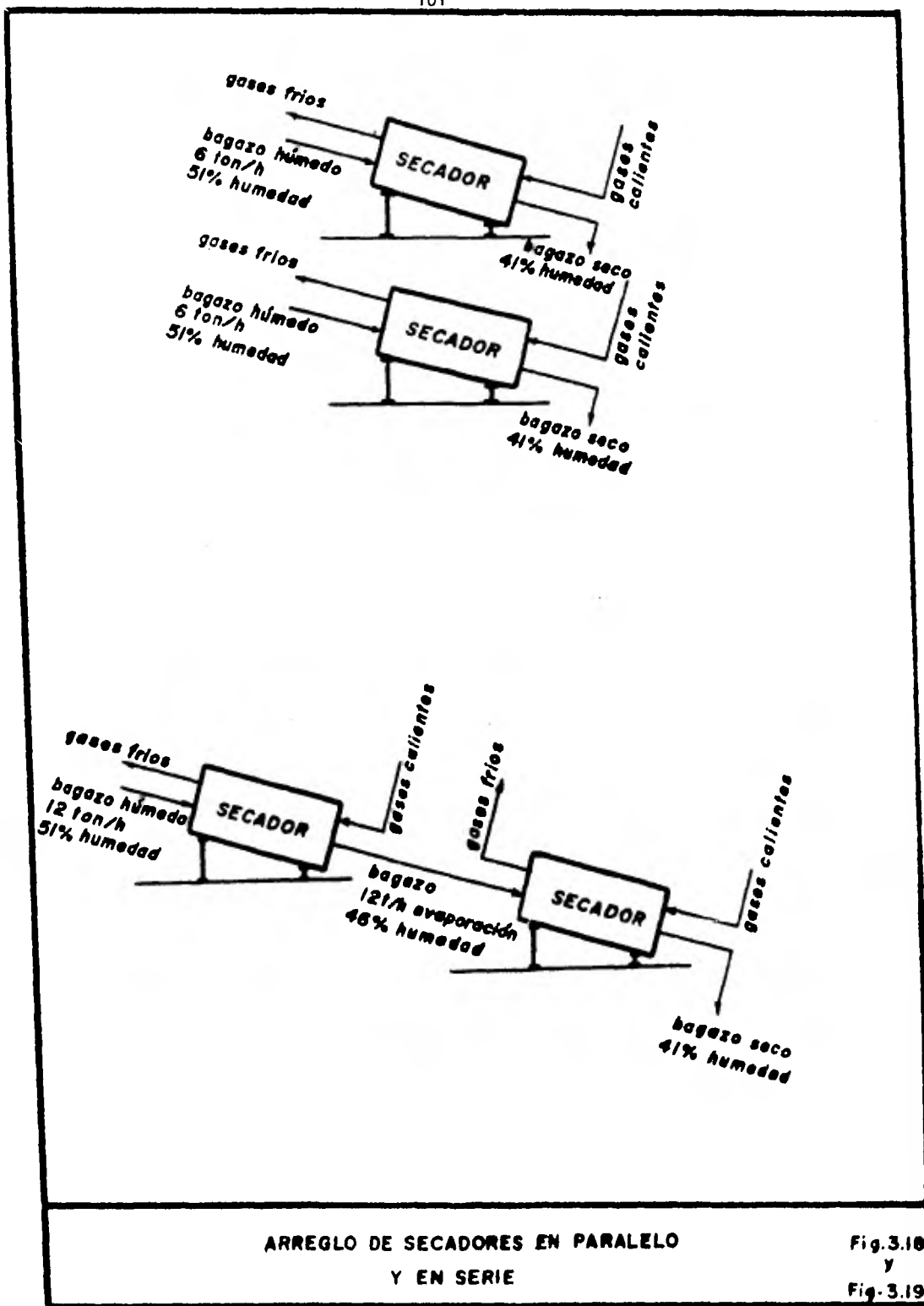
En este arreglo, la carga de bagazo se dividirá en - dos partes iguales donde cada secador deberá reducir un 10% - de humedad del producto según se muestra en la figura 3.18.

b).- Secadores en serie.

En esta alternativa las 12 Ton/hr. de bagazo saldrán del primer secador con 5% menos de humedad, y el otro 5% será eliminado en el segundo secador, según se muestra en la figura 3.19.

Para el diseño de los secadores, se realizaron los - siguientes cálculos:

- 1.- Carta psicrométrica de los gases de escape.
- 2.- Humedad de los gases de combustión.
- 3.- Gráfica de velocidad de secado.
- 4.- Balances de materia.



ARREGLO DE SECADORES EN PARALELO  
Y EN SERIE

Fig. 3.10  
y  
Fig. 3.19

5.- Balances de energía

6.- Dimensiones de los secadores.

3.1.6.1.- CARTA PSICROMETRICA

La composición del gas natural es:

$\text{CH}_4$	=	86%
$\text{C}_2\text{H}_6$	=	8.6%
$\text{C}_3\text{H}_8$	=	3.9%
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	=	0.7%
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	=	0.2%

La composición del bagazo con 41% de humedad es:

$\text{H}_2\text{O}$	=	41%
$\text{H}_2$	=	3.48%
$\text{C}$	=	28.95%
$\text{O}_2$	=	25.55%
Cenizas	=	1.03%

Como los productos de la combustión se harán con 70% de bagazo y 30% de gas natural, se tiene la siguiente composición:

$\text{CH}_4$	=	86 (0.3)	=	25.80%
$\text{C}_2\text{H}_6$	=	8.6 (0.3)	=	2.58%
$\text{C}_3\text{H}_8$	=	3.9 (0.3)	=	1.17%

$C_4H_{10}$	=	0.7 (0.3)	=	0.21%
$C_5H_{12}$	=	0.2 (0.3)	=	0.06%
$H_2$	=	3.48 (0.7)	=	2.44%
C	=	28.95 (0.7)	=	20.27%
$O_2$	=	25.55 (0.7)	=	17.89%
Cenizas	=	1.03 (0.7)	=	0.72%
$H_2O$	=	41 (0.7)	=	28.70%

Haciendo las reacciones convenientes, se obtienen -- los productos de la combustión. Los resultados se concentran en la tabla 3.2.

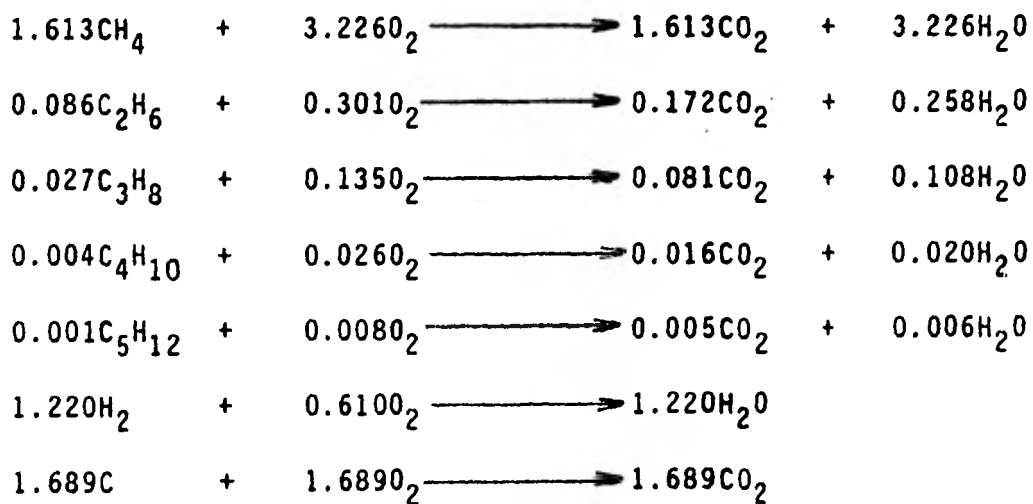
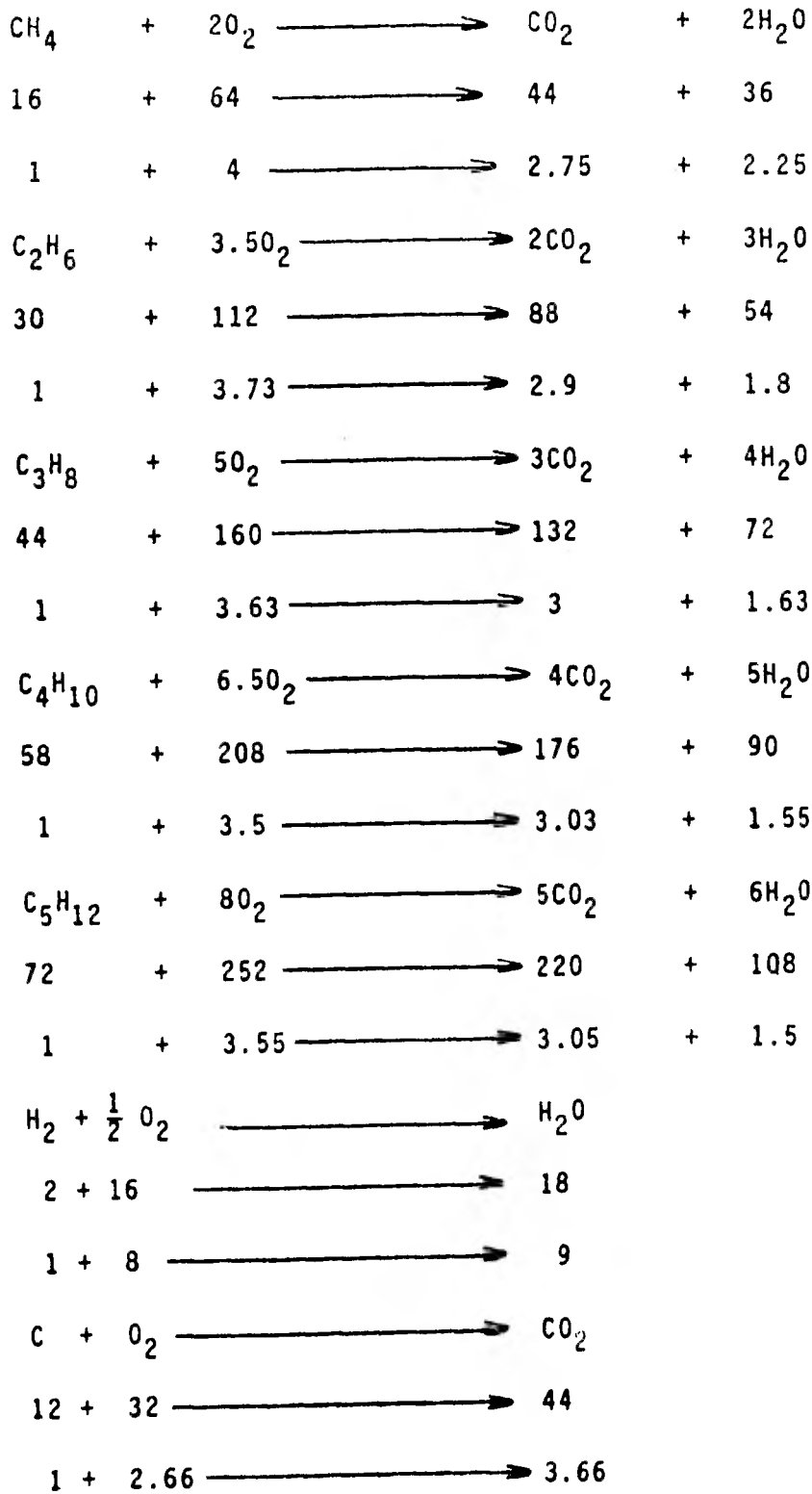




TABLA 3.2

Componente	% Peso	PM	Moles (% peso/PM)	O <sub>2</sub> Req'	PRODUCTOS		
					CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>	25.80	16	1.613	3.226	1.613	3.226	12.130
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.58	30	0.086	0.301	0.172	0.258	1.132
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.17	44	0.027	0.135	0.081	0.108	0.508
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.21	58	0.004	0.026	0.016	0.020	0.098
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.06	72	0.001	0.008	0.005	0.006	0.030
H <sub>2</sub> O	28.70	18	1.594	—	—	1.594	—
H <sub>2</sub>	2.44	2	1.220	0.610	—	1.220	2.294
O <sub>2</sub>	17.89	32	0.559	-0.559	—	—	-2.102
C	20.27	12	1.689	1.689	1.689	—	6.351
Cenizas	0.72	—	—	—	—	—	—
T o t a l	100	—	—	5.436	3.576	6.432	20.439

El aire químicamente necesario ( $A_{qn}$ ) para la reacción está en función del carbono y el hidrógeno del combustible; -- tomando los valores de la tabla 3.2 se tiene:



De donde el oxígeno necesario será:

$$O_{2qn} = 4CH_4 + 3.73 C_2H_6 + 3.63 C_3H_8 + 3.5 C_4H_{10} + 3.55 C_5H_{12} + 8H_2 + 2.66C-O_2$$

Como la proporción de oxígeno en el aire es:

$$\frac{100\% \text{ aire}}{21\% O_2} = 4.762$$

El aire químicamente necesario ( $A_{qn}$ ) se obtiene multiplicando  $O_{2qn}$  por la proporción anterior, es decir:

$$A_{qn} = O_2 \text{ req.} \times 4.762$$

$$A_{qn} = 19.048 C H_4 + 17.762 C_2H_6 + 17.286 C_3H_8 + 16.667 C_4H_{10} + 16.905 C_5H_{12} + 38.096 H_2 + 12.667 C - 4.762 O_2$$

Sustituyendo los porcentajes de la tabla 3.2, se tiene que:

$$A_{qn} = 19.048 (0.2580) + 17.762 (0.0258) + 17.286 (0.0117) + 16.667 (0.0021) + 16.905 (0.0006) + 38.096 (0.0244) + 12.667 (0.2027) - 4.762 (0.1789)$$

$$A_{qn} = 8.265 \text{ Kg. aire / Kg. comb.}$$

El aire prácticamente necesario, ( $A_{pn}$ ) se obtiene multiplicando  $A_{qn}$  por el exceso de aire.

El exceso de aire se obtiene de la siguiente forma:

El gas natural requiere de un 10% de exceso, mientras que para el bagazo se utiliza un 50%, por lo que:

gas natural	10 (0.3)	=	3%
bagazo	50 (0.7)	=	35%
			<hr/>
			38%

Exceso de aire = 38%

De aquí  $A_{pn}$  será:

$$A_{pn} = A_{qn} \times 1.38 = 8.265 \times 1.38 = 11.406 \text{ Kg. aire/Kg. comb.}$$

Por lo que el exceso en Kg. aire/Kg. comb. será entonces:

$$\text{Exceso} = 11.406 - 8.265 = 3.141 \text{ Kg. aire/Kg. comb.}$$

El número de moles en los productos de la combustión, debido al exceso de aire son:

$$\text{moles de } O_2 = \frac{3.141 (21)}{32} = 2.061$$

$$\text{moles de } N_2 = \frac{11.406 (79)}{28} = 32.181$$

De donde el total de moles en los productos de la combustión (base seca), son:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{moles de O}_2 & = & 2.061 \\
 \text{moles de N}_2 & = & 32.181 \\
 \text{moles de CO}_2 & = & \underline{3.576} \\
 & & 37.818
 \end{array}$$

El porcentaje de cada uno de los gases:

$$\% \text{ C O}_2 = \frac{3.576}{37.818} \times 100 = 9.456\%$$

$$\% \text{ N}_2 = \frac{32.181}{37.818} \times 100 = 85.094\%$$

$$\% \text{ O}_2 = \frac{2.061}{37.818} \times 100 = 5.450\%$$

Así, puede obtenerse el peso molecular de los gases -

secos:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{CO}_2 & = & 0.09456 \quad (44) = 4.161 \\
 \text{N}_2 & = & 0.85094 \quad (28) = 23.836 \\
 \text{O}_2 & = & 0.05450 \quad (32) = \underline{1.744} \\
 & & 29.731
 \end{array}$$

La línea de saturación (100% de humedad) se obtiene

con:

$$H_s = \frac{18}{\text{P.M.}} \times \frac{P_v}{P_{\text{atm}} - P_v} \quad \dots \quad (3.16)$$

donde:

Hs = humedad absoluta (Kg. agua/Kg. gases secos)

P.M. = peso molecular de gases secos (Kg.mol)

Pv = presión de vapor (Kg./cm<sup>2</sup>)

Patm = presión atmosférica (1.033 Kg/cm<sup>2</sup>)

Sustituyendo en la ecuación el valor de presión de vapor correspondiente a cada temperatura, se obtiene la curva de saturación.

Todos estos valores están incluidos en la tabla 3.3.

Las líneas de entalpía constante se obtienen con la siguiente ecuación:

$$H = H_s - \frac{C_s}{\lambda_s} (t - t_s) \dots (3.16)$$

donde:

Hs = Humedad de saturación a ts (Kg. agua/Kg. gases secos)

ts = Temperatura de saturación (°C)

t = Temperatura de bulbo seco (°C)

Cs = Calor específico de los gases a ts (Kcal/Kg.°C)

λs = Calor latente de vaporización del agua a ts (Kcal/Kg)

Obtención del Cs promedio de los gases a  $t_s = 50^\circ\text{C}$

$$\% \text{CO}_2 = 9.45\%$$

$$\% \text{N}_2 = 85.09\%$$

$$\% \text{O}_2 = 5.45\%$$

$$\text{CpCO}_2 = 0.210$$

$$\text{CpN}_2 = 0.249$$

$$\text{CpO}_2 = 0.220$$

$$\text{Cs} = (0.0945)(0.210) + (0.8509)(0.249) + (0.545)(0.220)$$

$$\text{Cs} = 0.2437$$

$$\lambda_s = 568.597 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{H}_s = 0.0839$$

$$\text{Para } T = 100^\circ\text{C}$$

$$\text{H} = 0.0839 - \frac{0.2437}{568.597} (100-50) = 0.06247$$

$$\text{Para } T = 120^\circ\text{C}$$

$$\text{H} = 0.0839 - \frac{0.2437}{568.597} (120-50) = 0.05389$$

$$\text{Para } T = 150^\circ\text{C}$$

$$\text{H} = 0.0839 - \frac{0.2437}{568.597} (150-50) = 0.06247$$

Estos tres puntos y el correspondiente a ( $H_s$ ,  $T_s$ ) de finen una línea de entalpía constante.

Ahora con  $T_s = 75^\circ\text{C}$

$$C_{p\text{CO}_2} = 0.216$$

$$C_{p\text{N}_2} = 0.250$$

$$C_{p\text{O}_2} = 0.221$$

$$C_s = (0.0945)(0.216) + (0.8509)(0.25) + (0.0545)(0.221) = 0.2451$$

$$\lambda_s = 554.389$$

$$H_{s75} = 0.3719$$

Para  $T = 100^\circ\text{C}$

$$H = 0.3719 - \frac{0.2446}{554.389} (100-75) = 0.3608$$

Para  $T = 120^\circ\text{C}$

$$H = 0.3719 - \frac{0.2446}{554.389} (120-75) = 0.35204$$

Para  $T = 150^\circ\text{C}$

$$H = 0.3719 - \frac{0.2446}{554.389} (150-75) = 0.3388$$

De la misma manera, estos puntos generan otra línea de entalpía constante.



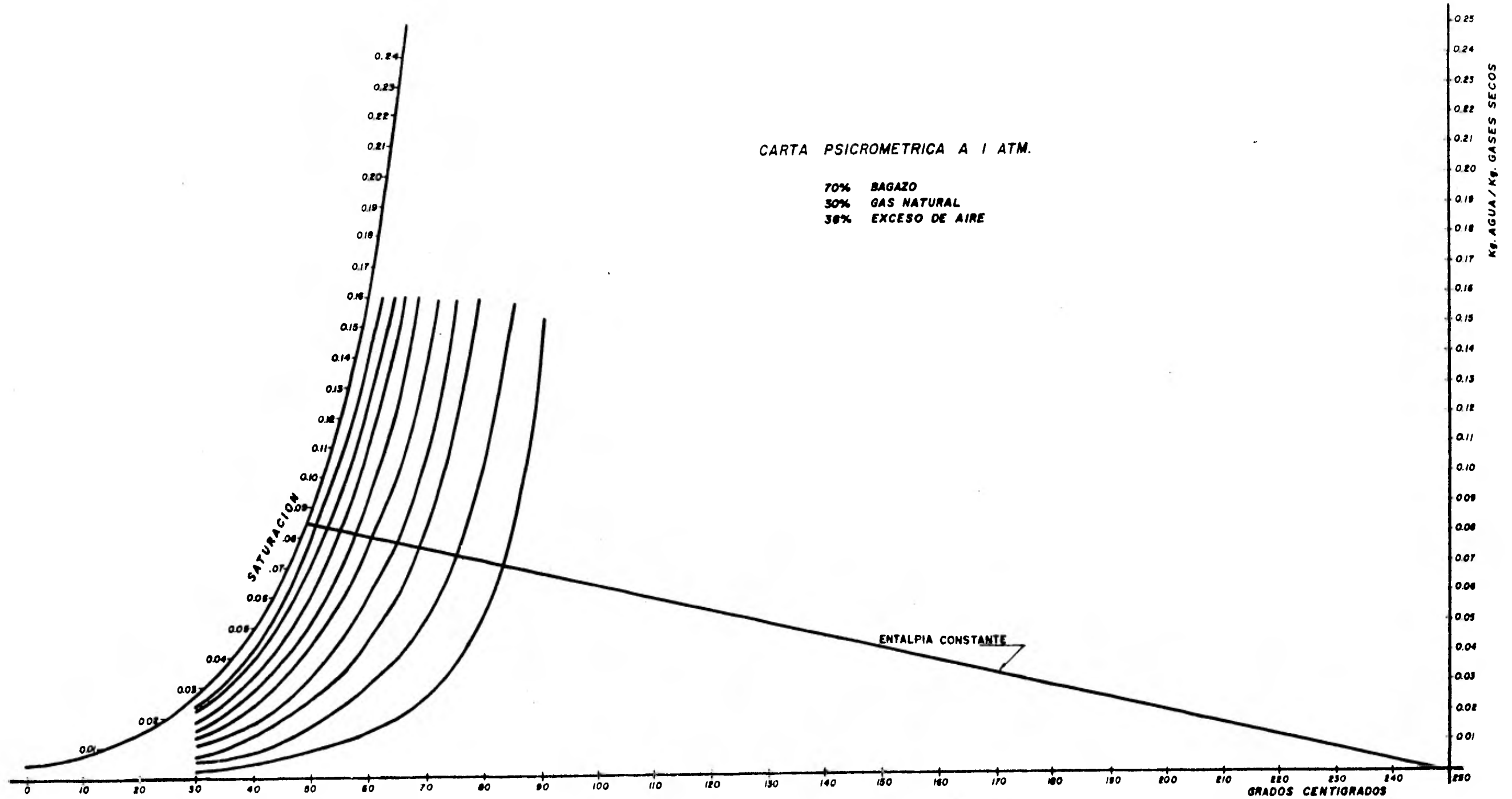
TABLA 3.3

HUMEDAD DE SATURACION Y HUMEDADES RELATIVAS

TEMP.	P	H <sub>s</sub>	Humedad Relativa								
			10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
°C	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg <sub>agua</sub> /Kg <sub>aire</sub>									
0.01	0.08865	0.0037	0.00037	0.00074	0.00111	0.00148	0.00185	0.00222	0.00259	0.00296	0.00333
10	0.17805	0.0074	0.00074	0.00148	0.00222	0.00296	0.0037	0.00444	0.00518	0.0059	0.00666
20	0.33897	0.0143	0.00143	0.00286	0.00429	0.00572	0.00715	0.00858	0.0100	0.0114	0.01287
30	0.61517	0.0265	0.00265	0.0053	0.00795	0.0106	0.0132	0.0159	0.0185	0.0212	0.0238
40	1.0695	0.0475	0.00475	0.0095	0.0142	0.019	0.0237	0.0285	0.0332	0.038	0.0427
50	1.7889	0.0839	0.00839	0.0167	0.0251	0.0335	0.0419	0.0503	0.0587	0.0671	0.0755
60	2.8890	0.1482	0.0148	0.0296	0.0444	0.0592	0.0741	0.0889	0.1037	0.1185	0.1333
70	4.5196	0.2689	0.02689	0.0537	0.0806	0.1075	0.1344	0.1613	0.1882	0.2151	0.2420
80	6.8691	0.5315	0.0531	0.1063	0.1594	0.2126	0.2657	0.3189	0.3720	0.4252	0.4783
90	10.1690	1.3605	0.1360	0.2721	0.408	0.5442	0.6802	0.8163	0.9523	1.0884	1.2244

CARTA PSICROMETRICA A 1 ATM.

70% BAGAZO  
30% GAS NATURAL  
38% EXCESO DE AIRE



## 3.1.6.2.- HUMEDAD DE LOS GASES DE COMBUSTION (3.17)

La humedad de los gases depende del hidrógeno contenido en el combustible. Con los porcentajes de la tabla, se tiene:



$$1 \text{ Kg.} + 4 \text{ Kg.} \longrightarrow 2.75 \text{ Kg.} + 2.25 \text{ Kg.}$$

$$1 \text{ Kg. CH}_4 \longrightarrow 2.25 \text{ Kg. H}_2\text{O}$$

$$0.258 \longrightarrow X$$

$$X = 0.581 \text{ Kg. agua/Kg. combustible.}$$

$\text{C}_2\text{H}_6$  :

$$1 \text{ — } 1.8$$

$$0.0252 - X$$

$$X = 0.046$$

$\text{C}_3\text{H}_8$  :

$$1 \text{ — } 1.63$$

$$0.0177 - X$$

$$X = 0.019$$

$\text{C}_4\text{H}_{10}$  :

$$1 \text{ — } 1.55$$

$$0.0021 - X$$

$$X = 0.003$$

$C_5H_{12}$  :

1 — 1.5

0.0006 - X

X = 0.001

$H_2$  :

1 — 9

0.0244 - X

X = 0.220

Sumando estos contenidos de humedad a la humedad propia del combustible, se obtiene el contenido total de humedad de los gases de escape.

Sumando:

$CH_4$	—	0.581
$C_2H_6$	—	0.046
$C_3H_8$	—	0.019
$C_4H_{10}$	—	0.003
$C_5H_{12}$	—	0.001
$H_2$	—	0.220
$H_2O$	—	0.287
		<hr/>
		1.157

$H_c = 1.157$  Kg. agua/Kg. comb.

Se sabe que:

$$\text{comb.} + \text{aire} = \text{gases} + \text{cenizas}$$

$$\frac{\text{comb.}}{\text{comb.}} + \frac{\text{aire}}{\text{comb.}} = \frac{\text{gases}}{\text{comb.}} + \frac{\text{cenizas}}{\text{comb.}}$$

$$\frac{\text{gases}}{\text{comb.}} = \frac{\text{aire}}{\text{comb.}} - \frac{\text{cenizas}}{\text{comb.}} + 1$$

Por otro lado:

$$\frac{\text{aire}}{\text{comb.}} = \text{Apn} = 11.406 \text{ Kg. aire/Kg. comb.}$$

$$\frac{\text{cenizas}}{\text{comb.}} = \% \text{ cenizas} = 0.0072$$

de donde:

$$\frac{\text{gases}}{\text{comb.}} = 11.406 - 0.0072 + 1 = 12.399 \text{ Kg. gases/Kg. comb.}$$

Dividiendo la humedad del combustible entre la relación gases/comb.:

$$\frac{1.157 \text{ Kg. agua/Kg. comb.}}{12.399 \text{ Kg. gases/Kg. comb.}} = 0.093 \text{ Kg. agua/Kg. gases.}$$

$$\text{Hg} = 0.093 \text{ Kg. agua/Kg. gases.}$$

### 3.1.6.3.- GRAFICA DE VELOCIDAD DE SECADO.

Para conocer la gráfica de secado, se hizo una prueba de secado de bagazo con gases de combustión del mismo material, utilizando un calentador de agua, en el que se quemó bagazo, y un tambor de 40 cms. de diámetro y 60 cms. de altura.

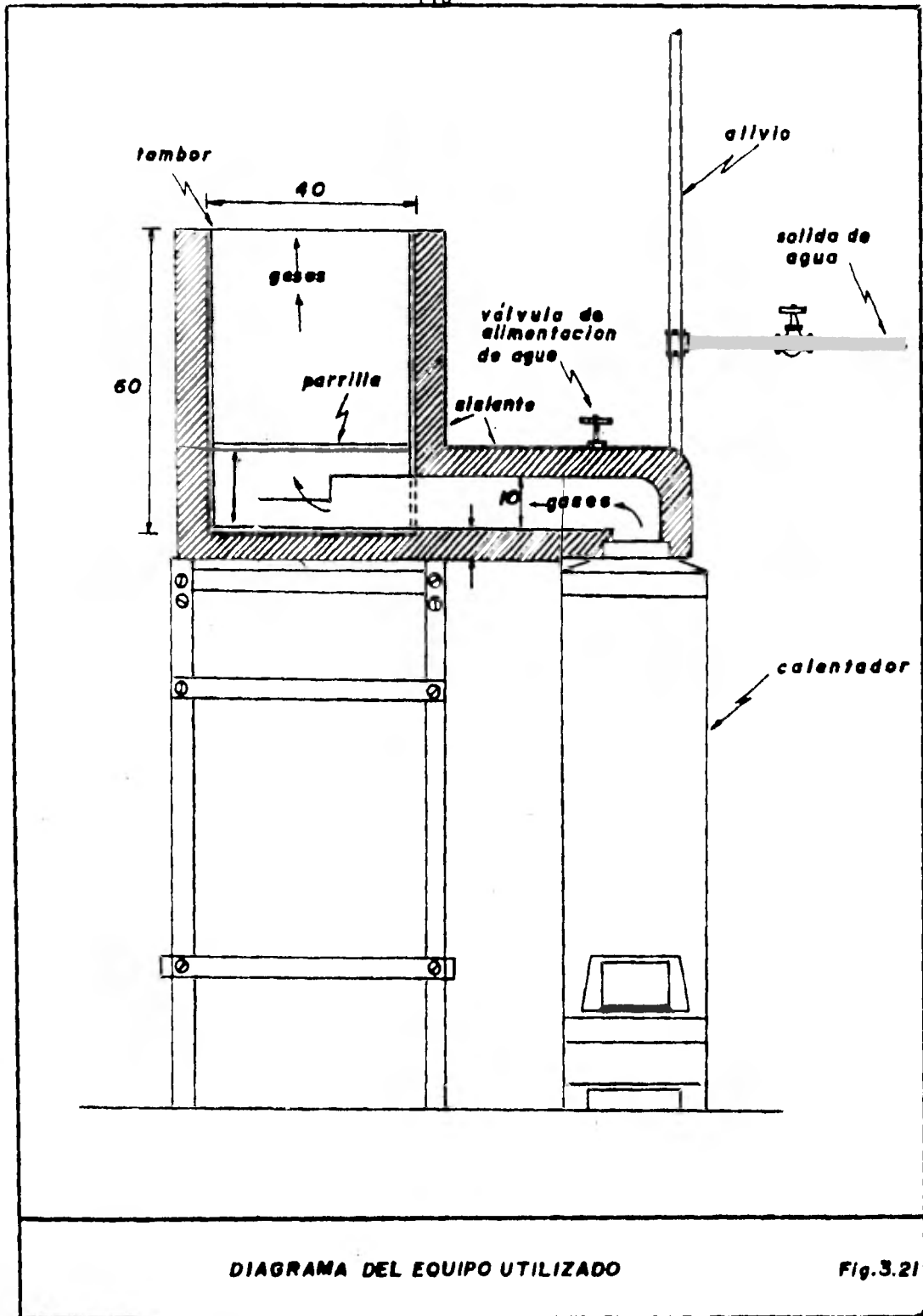
El tambor tiene una parrilla situada a 10 cms. de la base sobre la cual se colocaron las muestras del material a secar en canastillas de tela de alambre de 10 cms. por lado.

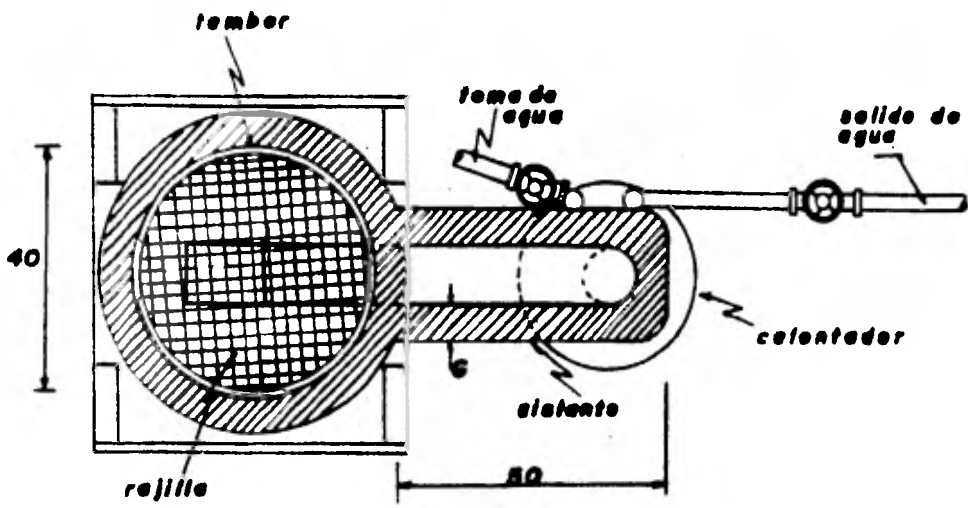
La salida de los gases de combustión del calentador se conectó a la parte inferior del tambor con un ducto de 10 cms. de diámetro y 50 cms. de longitud. El ducto y el tambor se aislaron con fibra de vidrio de un espesor de 6 cms. - (Figs. 3.21 y 3.22).

La temperatura de los gases se controló haciendo pasar más o menos agua (según se requiriera bajarla o subirla) a través del serpentín del calentador. La medición de dicha temperatura se hizo con un termómetro colocado dentro del tambor a la altura de la parrilla.

El experimento consistió en colocar 6 muestras de bagazo de 100 gr. cada una; cada 5 minutos se extraía una muestra y se pesaba, obteniéndose de esta manera, la pérdida en peso de la muestra con respecto a su peso original.

La humedad del bagazo que se utilizó para la muestra





VISTA EN PLANTA

Fig. 3.22



fue de 51% y la temperatura de los gases utilizados fué de --  
140°C.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 3.4.

T A B L A 3.4

tiempo min.	temperatura °C	tara grs.	peso ini- cial grs.	peso fina grs.	pérdida en peso grs.
5	140	47.65	147.65	139.50	8.15
10	140	49.50	149.50	136.20	13.30
15	140	49.70	149.70	131.30	18.40
20	140	50.50	150.50	127.70	22.80
25	140	48.10	148.10	124.00	24.10
30	140	49.20	149.20	124.70	24.50

En la tabla 3.5 se muestra la pérdida en gramos evapo  
rados con relación a la humedad inicial

T A B L A 3.5

tiempo	humedad gr.agua/100 gr.bag.	gramos evaporados
0	51.00	0.00
5	42.85	8.15
10	37.70	5.15
15	32.60	5.10
20	28.20	4.40
25	26.90	1.30
30	26.50	0.40

Considerando la humedad de equilibrio igual a 26% --  
 (ya que para este valor, la pérdida de humedad es casi nula)  
 la humedad libre del bagazo antes de secar será:

$$Heq = 51 - 26 = 25 \text{ grs. de agua/100 grs. de bagazo.}$$

Restando Heq de cada valor de humedad de la tabla --  
 3.6, se tiene la humedad libre para cada intervalo de tiempo  
 del experimento:

T A B L A 3.6 Humedad libre.

tiempo (min.)	(gr.agua/100 gr.bagazo)	(Kg.agua/Kg.bagazo)
0	25.00	0.25
5	16.85	0.1685
10	11.70	0.1170
15	6.60	0.0660
20	2.20	0.0220
25	0.90	0.0090
30	0.50	0.0050
35	0.00	0.0000

La velocidad de secado instantánea se calcula en función  
 de la pérdida de peso del bagazo, el tiempo necesario para  
 esa pérdida y la superficie de secado, por lo tanto:

Para la muestra 1

$$\frac{8.15 \text{ gr.}}{5 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 9.78 \text{ Kg/hrm}^2$$

Para la muestra 2

$$\frac{13.30 \text{ gr.}}{10 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 7.98 \text{ Kg/hrm}^2$$

Para la muestra 3

$$\frac{18.40 \text{ gr.}}{15 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 7.36 \text{ Kg/hrm}^2$$

Para la muestra 4

$$\frac{22.80 \text{ gr.}}{20 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 6.84 \text{ Kg/hrm}^2$$

Para la muestra 5

$$\frac{24.10 \text{ gr.}}{25 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 5.78 \text{ Kg/hrm}^2$$

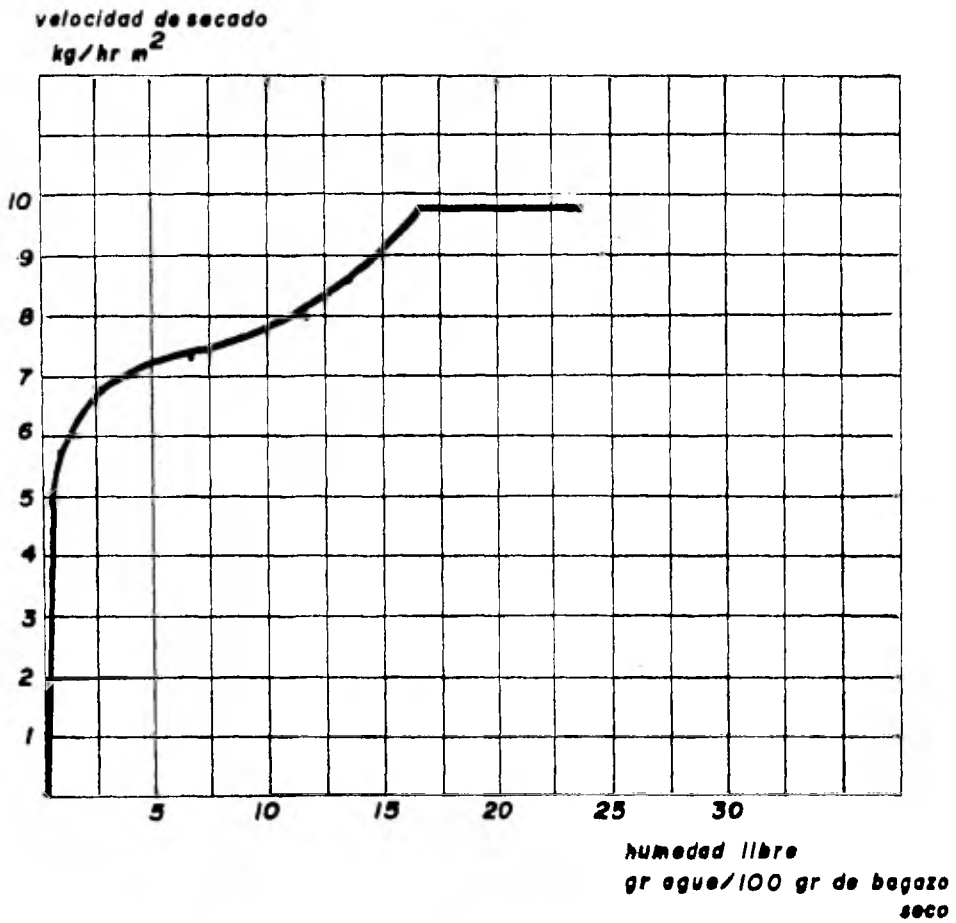
Para la muestra 6

$$\frac{24.50 \text{ gr.}}{30 \text{ min.} \times 100 \text{ cm}^2} = 4.9 \text{ Kg/hrm}^2$$

#### 3.1.6.4.- BALANCES DE MATERIA

Secadores en paralelo:

Humedad de los gases a la entrada de los secadores.



CURVA DE VELOCIDAD DE  
SECADO

Fig.3.25

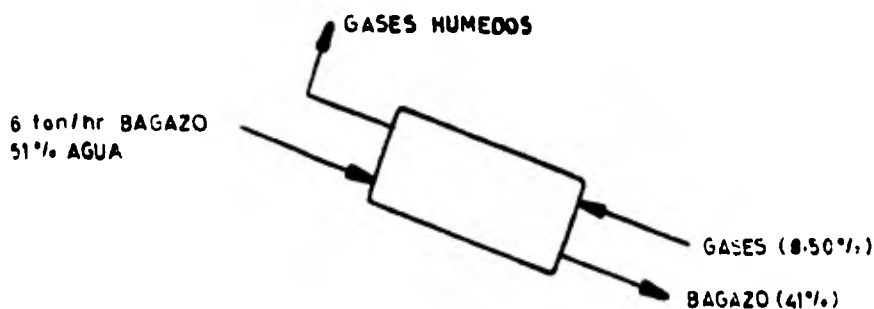
$$H_G = 0.093 \text{ Kg. agua/Kg. gases.}$$

$$1.093 \text{ ——— } 100\%$$

$$0.093 \text{ ——— } X$$

$$X = \frac{0.093}{1.093} (100)$$

$$X = 8.5\%$$



Contenido de agua en la alimentación.

$$6,000 (0.51) = 3,060 \text{ Kg.agua/Hr.}$$

Bagazo seco en la alimentación.

$$6,000 - 3,060 = 2,940 \text{ Kg.bagazo/hr.}$$

Contenido de agua en la salida.

$$\frac{X}{2940 + X} = 0.41$$

$$X = \frac{2,940 (0.41)}{1 - 0.41} = 2,043 \text{ Kg.agua/hr.}$$

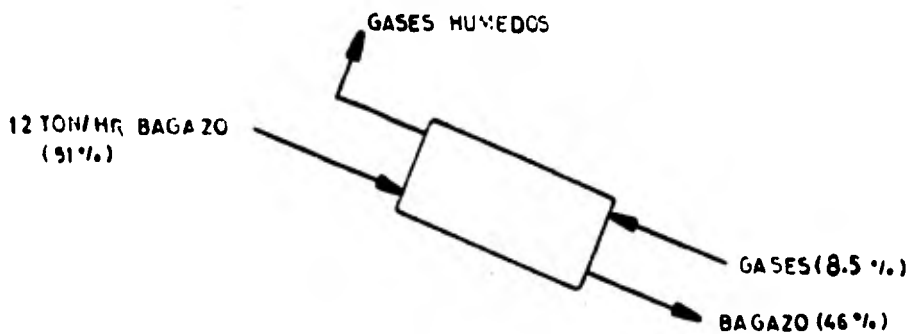
Evaporación.

$$3,060 - 2043 = 1,017 \text{ Kg.bagazo/hr.}$$

Producto total en la salida.

$$2,940 + 2,043 = 4,983 \text{ Kg.bagazo/hr.}$$

Secadores en serie



Contenido de agua en la alimentación.

$$12,000 (0.51) = 6,120 \text{ Kg. agua/hr.}$$

Bagazo en la alimentación.

$$12,000 - 6,120 = 5,880 \text{ Kg. bagazo/hr.}$$

Contenido de agua en la salida.

$$\frac{X}{5880 + X} = 0.46$$

$$X = \frac{5,880 (0.46)}{1 - 0.46}$$

$$X = 5,009 \text{ Kg. agua/hr.}$$

Evaporación.

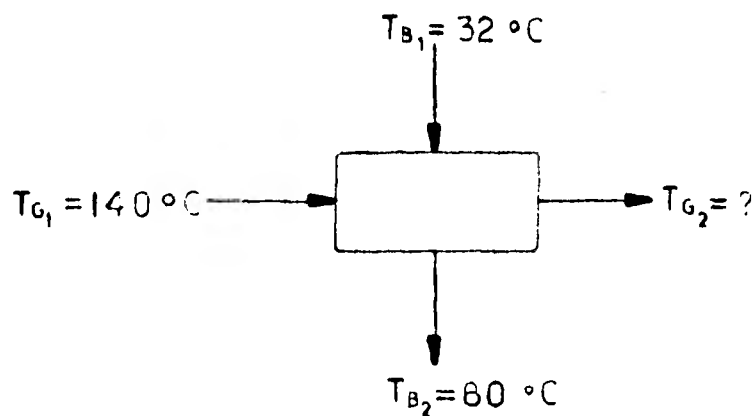
$$6,120 - 5,009 = 1111 \text{ Kg. agua/hr.}$$

Producto total en la salida

$$5,880 + 5,009 = 10,889 \text{ Kg. bagazo/hr.}$$

### 3.1.6.5.- BALANCE DE ENERGIA.

Secadores en paralelo



donde:

$T_{B1}$  = Temperatura de salida del bagazo

$T_{B2}$  = Temperatura de entrada del bagazo

$T_{G1}$  = Temperatura de entrada de los gases

$T_{G2}$  = Temperatura de salida de los gases

Para secador rotatorio (3.15):

$$1.5 \leq NUT \leq 2$$

NUT = Número de unidades de transferencia

Tomando NUT = 2

$$NUT = 2 = \ln \frac{T_{G1} - T_w}{T_{G2} - T_w}$$

$T_w$  = Temperatura de bulbo húmedo de los gases.

De esta temperatura puede tomarse una aproximación de la carta psicrométrica, ya que los gases no están en contacto con agua, sino con bagazo:

$T_w$  = 60°C aproximadamente.

Despejando de la ecuación anterior  $T_{G2}$ :

$$T_{G2} = \frac{140 - 60 + 60 e^2}{e^2} = 70.83^\circ\text{C}$$

$$T_{G2} = 70.83^\circ\text{C}$$



Calor necesario para elevar la temperatura del bagazo hasta su temperatura de salida (3.19)

$$Q_B = M_B CP_B (T_{B1} - T_{B2}) + W_B CP (T_{B1} - T_{B2})$$

Donde:

$M_B$  = Masa de producto a la entrada = 6000 Kg/hr.

$CP_B$  = Calor específico del bagazo a temperatura promedio.

$W_B$  = Contenido de agua a la salida = 2043 Kg.agua/hr.

$CP$  = Calor específico del agua a temperatura promedio.

$CP_B$  a Temperatura promedio (  $\frac{80 + 32}{2} = 56^\circ\text{C}$  )

Composición del bagazo.

$\%H_2 = 5.89$

$CP_{H_2} = 3.45 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$

$\%O_2 = 43.30$

$CP_{O_2} = 0.22 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$

$\%C = 49.06$

$CP_C = 0.168 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$

De donde:

$$CP_B 56^\circ = 3.45 (0.0589) + 0.22 (0.433) + 0.168 (0.4906)$$

Por lo tanto:

$$CP_B = 0.3809 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$CP_{56^\circ\text{C}} = 1.05 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo:

$$Q_B = 6000 (0.3809) (80-32) + 2043 (1.05) (80-32)$$

$$Q_B = 212,666 \text{ Kcal/hr.}$$

Calor necesario para eliminar la humedad (3.19)

$$Q_w = w(T_w - T_{B2}) + \lambda_w + C_{p_v} (T_{G2} - T_w)$$

Donde:

$$Q_w = \text{Humedad evaporada} = 1017 \text{ Kg.agua/hr.}$$

$$\lambda_w = \text{Calor de vaporación a } T_w = 562.83 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$C_{p_v} = \text{Calor específico del vapor} = 0.45 \text{ Kcal.Kg.}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo:

$$Q_w = 1017 (60 - 32) + 562.83 + 0.45 (70.83 - 60)$$

$$Q_w = 29,043 \text{ Kcal/hr.}$$

$$Q_T = Q_B + Q_w$$

$$Q_T = 212,666 + 29043$$

$$Q_T = 241,709 \text{ Kcal/hr.}$$

Masa de gases

$$Q_T = M_G C_{p_G} (T_{G1} - T_{G2})$$

$$M_G = \frac{Q_T}{C_{pG} (T_{G1} - T_{G2})}$$

Número de moles de los gases.

$$CO_2 = 3.566$$

$$N_2 = 32.181$$

$$O_2 = 2.061$$

$$H_2O = \frac{6.432}{44.18}$$

Porcentaje de gases.

$$\% CO_2 = \frac{3.566}{44.18} \times 100 = 8.017\%$$

$$\% N_2 = \frac{32.181}{44.18} \times 100 = 72.84\%$$

$$\% O_2 = \frac{2.061}{44.18} \times 100 = 4.66\%$$

$$\% H_2O = \frac{6.432}{44.18} \times 100 = 14.55\%$$

---

100.00%

A temperatura promedio:  $\frac{140 + 70.83}{2}$

$$T_{\text{promedio}} = 105^\circ C$$

$$C_{P_{CO_2}} = 0.22 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{P_{H_2O}} = 0.45 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{P_{N_2}} = 0.25 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{P_{O_2}} = 0.225 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{P_G} = (0.08017)(0.22) + (0.7284)(0.25) + (0.0466)(0.225) + (0.1455)(0.45)$$

$$C_{P_G} = 0.2756 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$M_G = \frac{241,709}{0.2756 (140-70.83)} = 12,679 \text{ Kg./hr.}$$

Secadores en serie.

Calor necesario para elevar la temperatura del bagazo a su temperatura de salida.

$$Q_B = 12,000 (0.3809) (80-32) + 5,009 (1.05) (80-32)$$

$$Q_B = 471,852 \text{ Kcal/Hr.}$$

Calor necesario para eliminar la humedad.

$$Q_w = 1,111 (60-32) + 562.83 + 0.45 (70.83 - 60)$$

$$Q_w = 31,675 \text{ Kcal/hr.}$$

$$Q_T = 471,852 + 31,675$$

$$Q_T = 503,527 \text{ Kcal/hr.}$$

$$M_G = \frac{503,527}{0.2756 (140 - 70.83)}$$

$$M_G = 26,413 \text{ Kg/hr.}$$

### 3.1.6.6.- DIMENSIONES DE LOS SECADORES.

Secadores en paralelo.

De la ecuación de continuidad:

$$M_G = A G$$

donde:

A = Area del secador

G = Masa velocidad de los gases.

$$A = M_G / G$$

Por otro lado, en los secadores rotativos se tiene

(3.20)

$$1,000 \leq G \leq 50,000$$

Haciendo una aproximación de G:

$$G = \rho v$$

donde:

$\rho$  = Densidad de los gases.

v = Velocidad de los gases.

Densidad promedio:

$$\% \text{CO}_2 = 9.45$$

$$\% \text{N}_2 = 85.09$$

$$\% \text{O}_2 = 5.45$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1.976 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{N}_2} = 1.251 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{O}_2} = 1.427 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{prom.}} = (0.0945)(1.976) + (0.8509)(1.251) + (0.0545)(1.427)$$

$$\rho_{\text{prom.}} = 1.33 \text{ Kg/m}^3$$

Para que no haya arrastre de material, la velocidad - máxima permitida en un secador rotatorio es de 2 m/seg. considerando la mitad de ese valor, se tiene (3.20)

$$v = 1 \text{ m/seg.} = 3,600 \text{ m/hr.}$$

por lo que:

$$G = 1.33 \times 3,600 = 4,788 \text{ Kg/hr-m}^2$$

Considerando que los gases tienen muchos obstáculos - dentro del secador usamos:

$$G = 2,000 \text{ Kg/hr-m}^2$$

Sustituyendo en la ecuación de continuidad:

$$A = M_G/G = 12,679/2,000 = 6.34 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (6.34)}{\pi}}$$

$$D = 2.84 \text{ m.}$$

$$L_T = 0.026 C_{pG} G^{0.84} D \dots (3.16)$$

$$L_T = 0.026 (0.2756) (2,000)^{0.84} (2.84)$$

$$L_T = 12 \text{ m.}$$

$$\text{Como NUT} = 2$$

$$L = L_T \times 2 = 12 \times 2 = 24 \text{ m.}$$

Para secadores rotativos, se debe cumplir la siguiente relación (3.6)

$$4 \leq \frac{L}{D} \leq 10$$

$$\frac{L}{D} = \frac{24}{2.84} = 8.45$$

Tiempo de retención (3.16)

$$\theta = \frac{0.23 L}{S N^{0.9} D} + \frac{1.97 \beta L G}{F}$$

donde:

$\theta$  = Tiempo de retención (min.)

$S$  = Inclinação del secador (m/m)

$N$  = rpm del secador

$F$  = Velocidad de alimentación de material seco  
(Kg/hr)

$\beta$  = Constante que depende del material, definida -  
por:

$$\beta = 5 (D_p)^{-0.5}$$

$D_p$  = Tamaño de la partícula (micrones)

En los secadores rotatorios:

$$0 \leq S \leq 0.08 \text{ m/m}$$

Considerando

$$S = 0.04 \text{ m/m}$$

La velocidad angular máxima permitida en este tipo -  
de secadores es (3.20)

$$N = \frac{25}{\sqrt{D}} = \frac{25}{\sqrt{2.84}} = 14.83 \text{ rpm}$$

En promedio, las partículas del bagazo miden 50,000  
micrones.

$$\beta = 5 (50,000)^{-0.5} = 0.022$$



Sustituyendo valores en  $\theta$ :

$$\theta = \frac{0.23 (24)}{(0.04) (14.83)^{0.9} (2.84)} + \frac{(1.97) (0.022) (24) (2,000)}{2940}$$

$$\theta = 4.99 \text{ min} = 5 \text{ min.}$$

Secadores en serie.

$$A = \frac{26,413}{2,000} = 13.2 \text{ m}^2$$

$$D = 4.1 \text{ m}$$

$$L_G = 17.35 \text{ m.}$$

$$L = 34.7 \text{ m.}$$

$$\frac{L}{D} = 8.46$$

$$\theta = \frac{0.23 (34.7)}{(0.04) (14.83)^{0.9} (4.1)} + \frac{1.97 (0.022) (34.7) (2,000)}{5,880}$$

$$\theta = 4.80 \text{ min.}$$

Como los dos secadores están en serie, el bagazo tarda 9.6 minutos en disminuir su humedad en un 10%.

### 3.2.- UTILIZACION DE GAS NATURAL EN LA INDUSTRIA -- AZUCARERA.

3.2.1.- GENERALIDADES.- La ventaja de contar con un combustible propio dentro de la materia prima, ha sido el motivo fundamental de no pensar siquiera en otros combusti---bles como el combustóleo, más que en forma complementaria; pe-  
ro no en forma sustitutiva, como podría ser el caso del gas -  
natural.

Durante los últimos años, hemos sido testigos del --  
inicio de la llamada crisis energética, cuyas repercusiones -  
se encuadran dentro de la lucha de grandes intereses económi-  
cos que quieren ahogar al mundo subdesarrollado mediante una  
mayor dependencia tecnológica.

Nuestro país no ha quedado exento de estas presiones, máxime ahora que saltamos a la palestra internacional, como -  
uno de los países con mayores reservas petroleras.

Gracias a las reclamantes voces de algunos mexicanos comprometidos, se ha podido medianamente controlar la explota-  
ción irracional de hidrocarburos; pero el futuro se presenta de igual color que el recurso, por los nubarrones que empañan el continente.

México dependerá todavía por mucho tiempo del petró-  
leo y del gas para el crecimiento de su economía.

(3.21) El desarrollo de otras fuentes alternas de energía, es incipiente aún. Según estimaciones, para el año 2000 la oferta será como sigue:

HIDROCARBUROS	72%
NUCLEARES	9%
HIDROELECTRICAS	5%
CARBON	12%
OTROS	2%

Volviendo la vista y orientando la temática hacia la industria azucarera, vemos por otra parte, que el bagazo es reclamado con mayor fuerza cada vez para otros usos industriales, tales como celulosa y papel, tableros aglomerados, etc.; por considerarse materia prima de pronta renovabilidad, a diferencia de los recursos silvícolas, de muy lenta renovación.

Por lo que toca al combustóleo, no obstante haberse utilizado también desde siempre como combustible complementario, y aún suplementario en los ingenios que venden su bagazo parcial o totalmente, presenta de un tiempo a la fecha, problemas de suministro por la carencia de fuerza tractiva suficiente para su movilización hasta los tanques de almacenamiento.

Ante este panorama, y con la experiencia de haberse utilizado ya gas natural en gran número de industrias: pape-

lera, construcción, siderúrgica, vidrio, etc., y siguiendo -- las directrices gubernamentales para aprovechar el ya tradi-- cionalmente quemado innecesario de este recurso energético, - la Comisión Nacional de la Industria Azucarera preparó un --- plan que comprendía la utilización de gas natural en aquellos ingenios cuya localización quedaba al alcance de los nuevos - gasoductos con dirección al norte.

Los aspectos técnicos involucrados en este proyecto, fueron resueltos mancomunadamente entre los técnicos de PEMEX y CNIA, quienes determinaron prioridades y etapas para su im- plantación en la práctica.

(3.22) Los ingenios que prioritariamente se contem- plaron son:

<u>INGENIO</u>	<u>DISTANCIA AL GASODUCTO EN KM.</u>
TRES VALLES	5
LOPEZ MATEOS	17
STA. ROSALIA	3
SAN PEDRO	3
EL MODELO	3
BENITO JUAREZ	3
CUATOTOLAPAN	3
SAN FCO. EL NARANJAL	3

Algunos ingenios particulares también realizaron -- gestiones en este sentido durante los años 78 al 80.

Los estudios preliminares consistieron en informes - proporcionados por parte de CNIA, considerándose que PEMEX debería recibir un informe detallado acerca de las relaciones - de consumo de combustóleo correspondiente a las zafras de los períodos correspondientes.

En concreto, los trabajos a realizar, consistirían - en lo siguiente (3.22)

- 1.- Instalación de un ramal de conducción tomado de la línea de PEMEX, donde se baja y se mide el - gasto dentro del ingenio.
- 2.- Instalación de instrumentos para medición, de - acuerdo a las demandas solicitadas por cada ingenio.
- 3.- Modificación de equipos y accesorios necesarios.

Las tres alternativas que se consideraron para el quemado del gas natural, fueron las siguientes:

- |               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| Alternativa 1 | Se quema 10% gas 90% bagazo |
| Alternativa 2 | Se quema 30% gas 70% bagazo |
| Alternativa 3 | Se quema 100% gas.          |

A partir de estas consideraciones, se hizo un análi-

sis de sensibilidad entre la inversión y el ahorro generado - en cada zafra, y se llegó a la siguiente conclusión:

- Alternativa 1      La inversión se paga en 11 años.
- Alternativa 2      La inversión se paga en 3 años.
- Alternativa 3      La inversión se paga el mismo año.

Además del ahorro obtenido por la simple sustitución del petróleo por gas natural, deberán considerarse otros costos, como son:

Costo del bombeo y calentamiento de petróleo.

Costo de la limpieza de las calderas.

Costo de operación de los sopladores de hollín.

Eliminación de tanques de almacenamiento, bombas y calentadores. El sobrante del bagazo que no es quemado, presenta el inconveniente de posibles incendios, así como el poco espacio de que se dispone dentro de los mismos ingenios para su apilamiento. Este problema se agrava en la mayoría de los ingenios, debido a que las industrias que podrían utilizar el bagazo como materia prima, se encuentran muy distantes de éstos. Por lo anterior, se concluye como más viable la segunda alternativa.

### 3.2.2.- ANTECEDENTES DEL USO DE GAS NATURAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

La experiencia más cercana, y quizá la más represen-

tativa, la encontramos en la región de Louisiana, Estados Unidos, donde por mucho tiempo se ha venido utilizando este combustible en unidades generadoras diseñadas originalmente para el quemado de bagazo.

La demanda de este subproducto fibroso por otras industrias (cartón, papel y tableros), así como las regulaciones anticontaminantes, provocaron que la sustitución del bagazo se hiciera con gas natural, obteniéndose entre otras, las siguientes ventajas:

- a) Combustión más limpia (bajo nivel de contaminantes atmosféricos).
- b) Reparaciones menores en calderas.
- c) Economía de espacio para almacenamiento.

Por contra, la baja eficiencia de generación al utilizar un combustible con mayor poder calorífico, comparada -- ésta con la obtenida con unidades modernas diseñadas para quemar gas natural, es sin duda el enemigo número uno para el -- cambio. Esto se ha venido resolviendo con la introducción -- de pequeñas unidades (tipo paquete) con gran capacidad de generación, en las que se obtienen eficiencias más allá del 80%.

## (3.23) CONSUMO DE GAS NATURAL (LOUISIANA)

TEMPORADA	1974	1975	1976
Gas natural MCF/ton	0.80	0.50	0.60
Costo típico \$/MCF (U.S.)	0.96	1.32	1.75
Costo del combustible \$/Ton (U.S.)	0.81	0.66	1.05

3.2.3.- DIAGRAMA TIPICO MOSTRANDO LA INSTRUMENTACION BASICA REQUERIDA PARA EL QUEMADO DE GAS NATURAL. (3.24)

El sistema para regulación y control del gas dentro del ingenio consta básicamente de dos secciones. La primera comprende desde la conexión al gasoducto de PEMEX, hasta la tubería matriz de quemadores; la segunda sección parte de la misma tubería matriz y termina en el piloto del quemador de la caldera.

El primer dispositivo de la línea, es un filtro encargado de no dejar pasar impurezas al resto de la instalación. Enseguida se encuentra una válvula de corte para la suspensión de suministro de combustible. A partir de ahí comienza propiamente el sistema de regulación y control.

El primer elemento de regulación es un interruptor de baja presión que garantiza un mínimo de presión en el ducto.



Si por el contrario, la presión es mayor a la debida, el siguiente dispositivo (válvula de seguridad) la reduciría, y en caso necesario, parte del flujo de combustible se desviaría hacia la atmósfera a través de una válvula de ventilación.

Sin embargo, para mayor seguridad, se coloca posteriormente un interruptor de alta presión; la válvula de control que le sigue proporciona el flujo adecuado al ducto principal de quemadores.

La sección de abastecimiento de los pilotos, posee también un filtro y una válvula de corte; la presión y el gasto necesario para los quemadores, los proporciona un regulador de presión y una válvula solenoide.

Dos registros de presión pueden obtenerse en la primera sección, por sendos manómetros colocados al inicio y final de dicha sección.

En la sección de abastecimiento de los pilotos, el registro se puede obtener en el manómetro situado justamente a la entrada del quemador.

#### 3.2.4.- TRATAMIENTO SECUNDARIO DEL GAS NATURAL (3.25)

Tanto el gas natural como el petróleo crudo tienen un alto contenido de sulfuro de hidrógeno, lo que es perjudicial para el sistema de quemado, pues produce alto porcentaje de corrosión. Por lo tanto, el gas virgen no es adecuado en las

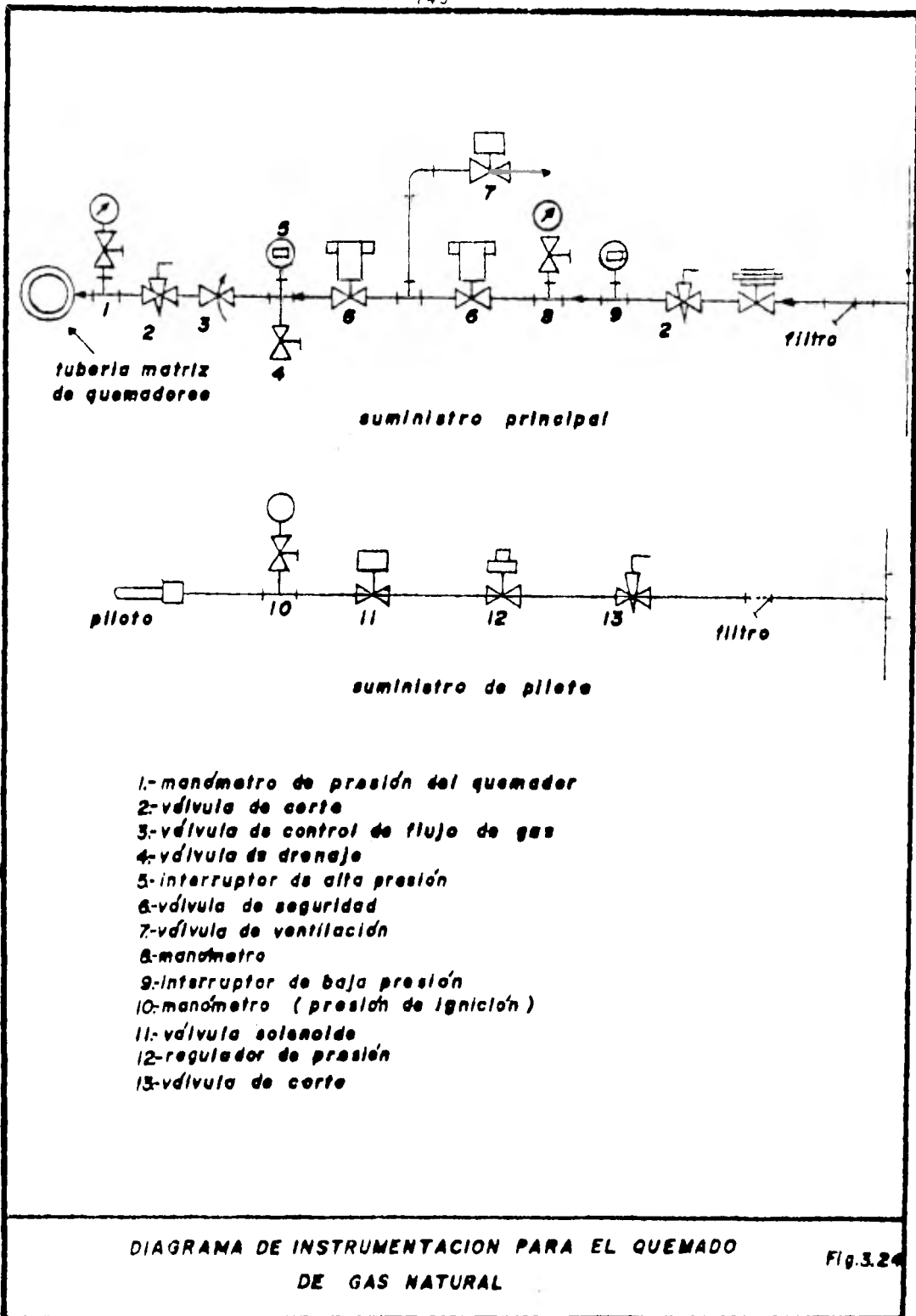


DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION PARA EL QUEMADO  
DE GAS NATURAL

Fig.3.24

calderas, y se le debe hacer un tratamiento para bajar el contenido de  $H_2S$  y lograr que quede libre de otros componentes - perjudiciales.

T A B L A 3.7 ANALISIS TIPICO DEL GAS NATURAL.

COMPONENTE		GAS DULCE	GAS DESENDULZADO
$CO_2$	Dióxido de Carbono	5.5	0.00
$CH_4$	Metano	77.73	88.83
$C_2H_6$	Etano	5.53	6.35
$C_3H_8$	Propano	2.41	2.75
$C_4H_{10}$	Butano	1.17	1.34
$C_5H_{12}$	Pentano	0.39	0.45
$H_2S$	Sulfuro de Hidrógeno	7.00	0.004

3.2.5.- POSIBILIDAD DE UTILIZACION DE UNA TURBINA -  
DE GAS PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA  
EN LOS INGENIOS.

En todos los ingenios se requiere tanto de carga térmica como eléctrica. (3.26)

Los ciclos de generación de energía utilizando turbininas de gas, se han integrado en varios procesos para llenar - estas necesidades. En la figura 3.25 los gases de escape de la turbina tienen una temperatura de  $900^\circ F$  y pueden utilizar-

se para generar vapor de baja presión, al mismo tiempo que la turbina produce grandes cantidades de energía eléctrica.

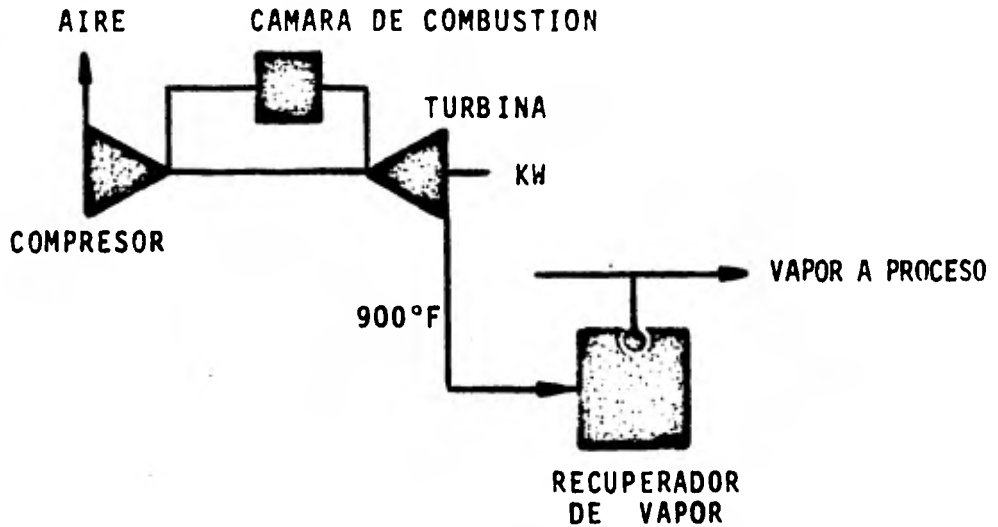


Fig. 3.25

En la figura 3.26 se muestra un arreglo con precalentador de combustible para mejorar la eficiencia de la combustión.

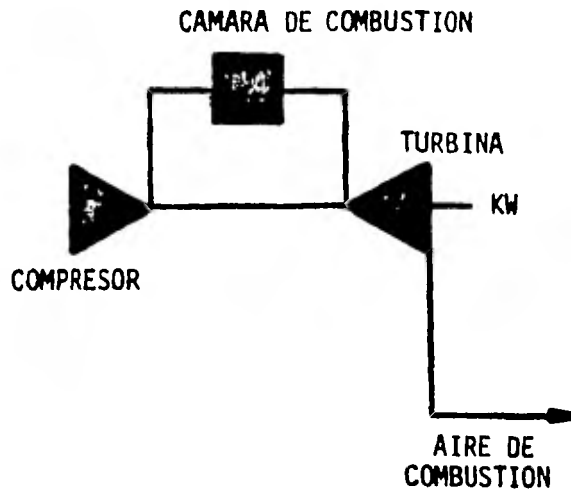


Fig. 3.26

En la figura 3.27 se describe un ciclo Brayton regenerativo seguido de un proceso de generación de vapor. El regenerador reduce el consumo de combustible aproximadamente un 20% y la temperatura de los gases de escape disminuye a 600°F.

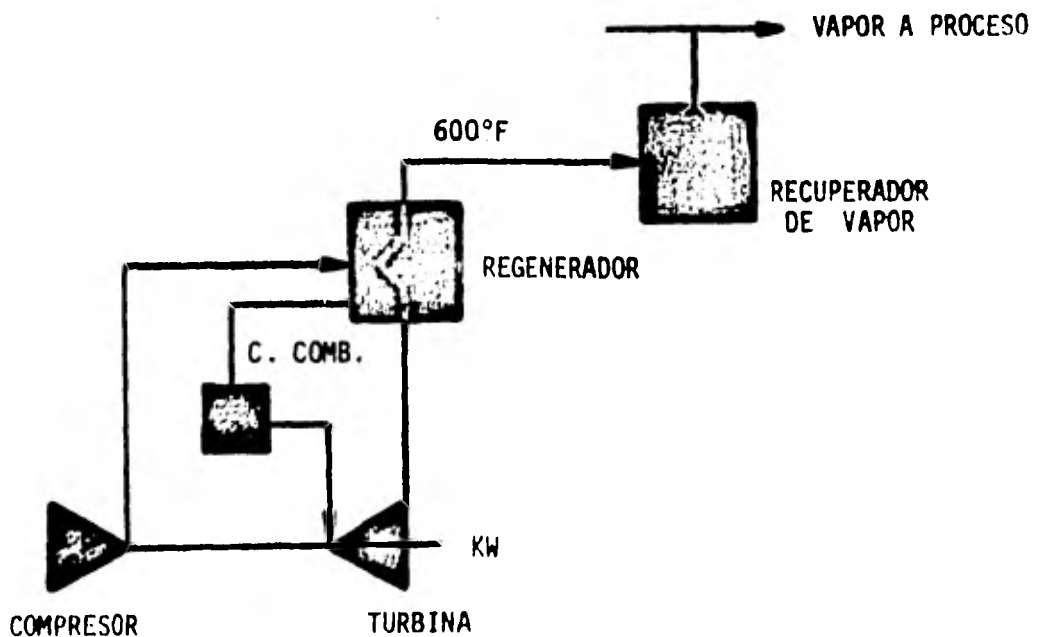


Fig. 3.27

Por último, en la figura 3.28 se muestra una combinación de turbina de gas con recuperador de calor para generar vapor y un generador de vapor independiente.

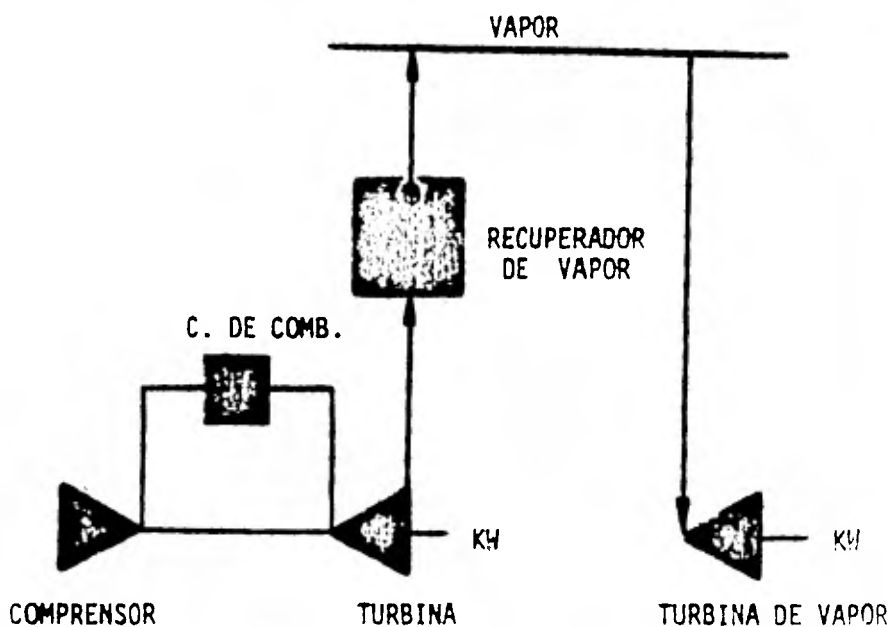


Fig. 3.28

### 3.2.5.1.- ARREGLO SUGERIDO.

Para tener un mejor aprovechamiento y distribución - tanto de energía eléctrica como de vapor, se ha pensado en el primer arreglo.

Para tal efecto, General Electric recomienda una turbina de gas con capacidad para generar 8940 Kw que satisface las necesidades del ingenio.

Por las características de la turbina, se plantea la alternativa de suministrar un excedente de energía eléctrica a una posible planta de subproductos, e incluso a la red de distribución de la CFE.

De acuerdo al diagrama de la figura 3.29, los gases de escape de arreglo convencional de generadores de vapor con juntamente con el recuperador de calor de la turbina, son utilizados para el secado del bagazo; según la alternativa a utilizar 30% gas y 70% bagazo, el generador del arreglo sugerido produciría un gasto de aproximadamente 100,000 lb/hr de vapor. Mientras que el recuperador daría un gasto de 67,200 lb/hr de vapor.

El total del flujo de vapor será empleado para el accionamiento de primotores y posteriormente dentro del proceso en el ingenio.

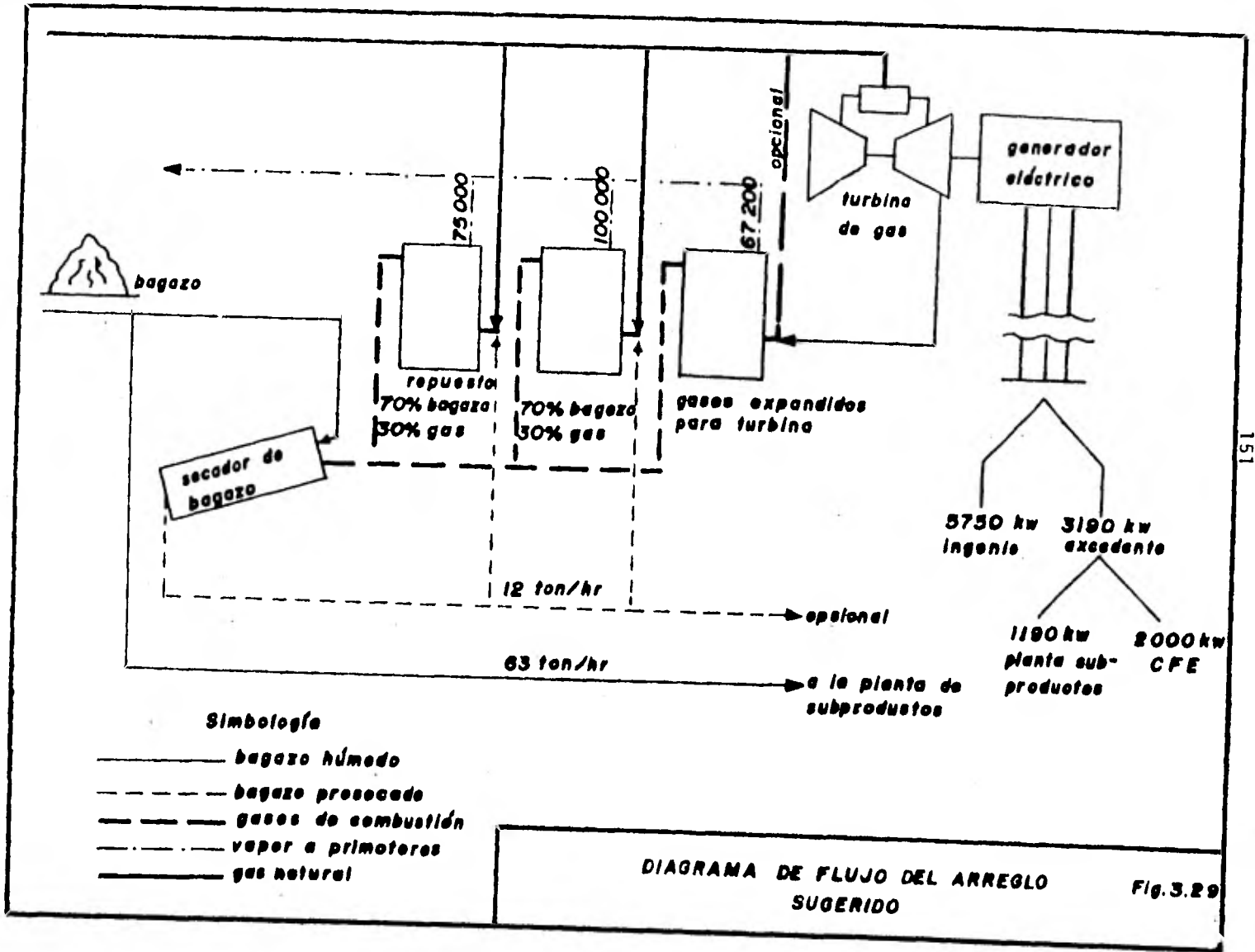
### 3.2.6.- CONSIDERACIONES PRACTICAS.

Consideremos un ingenio con una molienda potencial de 6,000 toneladas de caña por día (capacidad modular en unidades de reciente instalación); 30% bagazo en caña, eliminándose el 10% de agua con un secador.

#### 3.2.6.1.- SUPOSICIONES.

Se generan 2.4 lbs vap/lbs bagazo (41% humedad)

Se generan 13.7 lbs vap/lbs petróleo.



**Simbología**

- bagazo húmedo
- - - - - bagazo procesado
- - - - - gases de combustión
- ..... vapor a primotermos
- gas natural

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL ARREGLO SUGERIDO**

**Fig. 3.29**



Se quemará 70% bagazo y 30% gas natural.

Energía eléctrica requerida 23 Kw/T.C.

(25 lbs vap/Kw-Hr).

Vapor requerido por el ingenio 550 Kg/T.C.

**ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA:**

$$6000 / 24 = 250 \text{ T.C.H.}$$

$$250 \times 23 = 5750 \text{ Kw}$$

**VAPOR REQUERIDO:**

$$550 \times 2.2 \times 250 = 302,500 \text{ lbs/hr}$$

Menos vapor economizado por utilizar turbina de gas en la ---  
planta eléctrica.

$$5,750 \times 25 = 143,750 \text{ lbs/hr.}$$

**VAPOR TOTAL REQUERIDO:**

$$302,500 - 143,750 = 158,750 \text{ lbs/hr.}$$

Vapor generado con los gases expandidos en la turbina 67,200  
lbs/hr. (datos del fabricante para las condiciones estipula--  
das).

**VAPOR NETO A GENERAR:**

$$158,750 - 67,200 = 91,550 \text{ lbs/hr.}$$

Que se generará en una caldera con capacidad de 100,000 lbs/hr.

Otra unidad de 75,000 lbs/hr queda para servicio emergente, o para otros usos (destilería, ampliación capacidad del ingenio, etc.)

No se considerará su precio en este análisis (unidad existente).

### 3.2.6.2.- PRE-ESTUDIO DE FACTIBILIDAD:

I).- INVERSION REQUERIDA (Costos)	\$ (M.N.)
Turbina de gas	80 x 10 <sup>6</sup> *
Líneas de conducción de gas	9 x 10 <sup>6</sup> **
Sub-total	<u>89 x 10<sup>6</sup></u>
Varios (15%)	<u>15 x 10<sup>6</sup></u>
Total estimado	104 x 10 <sup>6</sup>

\* Datos estimados General Electric

\*\* Estudio CNIA. (Ingenio cercano gasoducto existente).

### II).- BENEFICIOS

a).- Economía de combustible (petróleo actualmente)

Caldera con gases expandidos  $\frac{67,200 (24)(115)}{13.5} = 13,538.102$

$\frac{13,538,102}{(2.2) 0.95} = 6,477,560$  lts.

Costo por litro = \$ 0.50 PEMEX

Ahorro por zafra =  $6,477,560 \times 0.50 = \$ 3,238,780.00$

b).- Bagazo requerido para combustión 70% (base 41% humedad).

$91,550 \times .70 = 64,085 \text{ lbs/hr.}$

$64,085 \div 2.4 = 26,702 \text{ lbs bagazo}$

$26,702 \div 2.2 = 12,137 \text{ Kg aprox. 12 tons.}$

Bagazo excedente (Vendido a \$ 387.00 /Ton.) \*\*\*

$250 \times 0.30 = 75 \text{ ton/hr.}$

$75 - 12 = 63 \text{ ton/hr.}$

$63 \times 24 \times 115 = 173,880 \text{ ton gabazo/zafra. (húmedo)}$

$173,880 \div 2 = 86,940 \text{ (base seca)}$

$86,940 \times 387.00 = 33,645,780.00$

\*\*\* Datos proporcionados por el departamento técnico de CNIA  
(Ing. Carrol).

c).- Energía eléctrica: (A) Para la planta de sub-productos durante 12 meses 7,000 Kw. Que en pesos nos dá - -  
\$ 196,172.00

Energía eléctrica a CFE durante 12 meses 63,130 Kw.

Que en pesos nos dá \$ 1,805,979.00

Siendo el total de los dos \$ 2,002,151.00

T A B L A 3.8 CONSUMO DE ENERGIA POR ZAFRA

Mes	Capacidad Generada	Demanda de Ingenio	Planta de -- Subproductos	CFE
1	8,940	5,750	1,190	2,000
2	8,940	5,750	1,190	2,000
3	8,940	5,750	1,190	2,000
4	8,940	5,750	1,190	2,000
5	8,940	5,750	1,190	8,640
6	8,940	150	190	8,290
7	8,940	500	190	8,290
8	8,940	500	190	8,290
9	8,940	500	190	8,290
10	8,940	500	190	8,290
11	8,940	500	190	8,290
12	8,940	5,750	190	3,040
		Totales	7,000	63,130

\*\*\* Demanda mínima mensual 196,172.00 1,805,794.00

A los primeros Kw se aplica

\$ 21.0353

Para el resto de Kw se apli

ca \$ 28.68

\*\*\* Servicios Generales de Alta Tensión (A) ≤ \$2,002,151.00

Según Tarifa No. 8

Haciendo un análisis de beneficio/costo, tenemos lo siguiente:

BENEFICIOS: Ahorro de combustible por zafra + bagazo vendido + energía eléctrica.

3,238,780.00 + 33,645,780.00 + 2,002,151.00 = 38,886,711.00

COSTOS =  $104 \times 10^6$  (A/P, 5%, 20) = 8,344,960.00

RELACION BENEFICIO/COSTO será igual a:  $\frac{38,886,711.00}{8,344,960.00} = 4.6$

Por lo anterior, se estima conveniente proponer la - profundización de este estudio para juzgar la conveniencia de aprovechar este arreglo en la industria azucarera.

### 3.2.6.3.- COMENTARIOS ADICIONALES.

En nuestras consideraciones iniciales, hemos partido del supuesto de que se logrará un convenio con PEMEX para mantener precios bajos en el suministro de gas. También que habrá aumento en el precio por tonelada de bagazo, mediante la fijación del precio como materia prima básica y no con la actitud que hasta ahora se ha tenido de que se hace un favor a los ingenios al sacarlo de sus instalaciones.

La automatización de las calderas para el quemado de gas, en los que se utiliza un número menor de éstas para generación de vapor, conlleva a la economía de personal en esta - área. Así el personal puede pasar a ocupar nuevas plazas en

la fábrica de subproductos, para no pensar en su liquidación.

Todo esto, se traducirá en ventajas a favor de la -- nueva instalación, las cuales no se consideran en este estudio; pero que definitivamente tornan más atractiva la investigación.

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

- 3.1).- Cane Sugar  
Noel Deerr.
- 3.2).- ICIDCA, Revista, Vol. 6 No. 3, 1972  
Pag. 27-34  
Ing. Fabio Girobart  
C.C.T. Yli A. Terentiev.
- 3.3).- International Industrial Consultats, Inc.  
Boletín Informativo.  
9920 West 34th Drive.  
Wheat Ridge, Colorado.
- 3.4).- Review of Proffress with bagasse for use in industry.  
Joseph E. Atchinson.
- 3.5).- Anteproyecto de un secador neumático directo para ba  
gacillo de caña'  
Tesis profesional, ESQUIE, 1969.  
García, Reta C.
- 3.6).- Secado de bagazo de caña para combustible en genera-  
dores de vapor.  
Tesis Profesional, EDIQUIE, 1971.  
Torres, G.T.
- 3.7).- Brasil Acucareiro, Año XLIX-Vol.XCVII-Feveréiro 1981-No.2  
Pag. 10-19  
Luis Ernesto Correia Maranhão.
- 3.8).- Sugar y Azúcar, Revista, Junio 1981.  
Pag. 21

- 3.9).- The French-Oil Mill, Machinery Company.
- 3.10).- Sugar y Azúcar, Revista, Junio 1981.  
Pag. 123  
C.G. Tauzin  
D. Maples  
G.L. Harper
- 3.11).- Como mejorar la utilización del bagazo, el combustible natural de las centrales azucareras de caña.  
Itabana, Cuba, Septiembre 1980.
- 3.12).- Recuperación del calor perdido en una caldera.  
Harold, S. Birkett, L.S.U.
- 3.13).- The South African Sugar Journal, Revista, January, -  
1980. Pag. 20-21.
- 3.14).- Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Vol. II.  
Mc Cabe / Smith.  
Edit. Reverté, Barcelona-Argentina, 1968.
- 3.15).- Introducción a la Ingeniería Química.  
Badger and Banchero. Mc Graw-Hill, 1964.
- 3.16).- Chemical Engineers' Hand Book  
John H. Perry  
Mc Graw-Hill, 1963.
- 3.17).- Generadores de vapor.  
Leon Avalos y Vez.  
Serie de Tecnología Ciencia y Técnica, IPN.
- 3.18).- Factory Engineering  
S.K. Ghosh, National Sugar Institute,  
Kampur, India.
- 3.19).- Diseño de un secador rotatorio para acetato de celulosa en escamas.  
Tesis Profesional, ESQUIE, 1974.  
Mireles U.O.
- 3.20).- Enciclopedia Química Industrial.  
Vol. I.  
ULLMAN
- 3.21).- PROCESO, Revista.  
No. 5, diciembre 1976.
- 3.22).- Asociación de Técnicos Azucareros de México, Revista.  
IX Convención Nacional.  
Pag. 110-117.



- 3.23).- Louisiana State University.  
Division of continuing education.  
Apendix E.
- 3.24).- Engineering Standards  
Schematic Gas Piping, F.I.A. Requirements,  
Automatic System,  
1970.
- 3.25).- Plantas Eléctricas.  
Raul González A., ESIME.
- 3.26).- Industrial Gas Turbine Fact File, GEZ-38.  
General Electric, No. 6.

## C A P I T U L O 4

FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA CON UTILIZACION  
POTENCIAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

## 4.1.0.- INTRODUCCION.

Revitalizando la idea original de utilizar otras --- fuentes alternas de energia a bajo costo que eliminaran los - efectos nocivos de la ya común y corriente contaminación am-- biental, los científicos de muchos países industrializados -- han vuelto la vista hacia atrás para retornar a la idea origi-- nal de utilizar el sol como fuente gratuita de energia inago-- table.

La HELIOENERGETICA toma hoy en día lugar preponderan-- te en la investigación cotidiana en los Estados Unidos, la -- Unión Soviética, Francia, Israel y otros países, en medio de - un convulsionado mundo cuyos valores giran en torno al desa-- rrollo de satisfactores tan sofisticados como dependientes de

recursos irrenovables, que de no controlarse nos llevarán sin freno a la hecatombe.

Cualquier estudio que aborde aprovechamientos térmicos como tema fundamental, quedaría vacío actualmente si no se estudia la trascendencia que en ellos tiene el planteamiento de la helioenergía, ampliamente demostrada en instalaciones domésticas menores; pero casi virgen todavía en lo que a su aprovechamiento en procesos industriales se refiere.

Tratemos pues de esbozar algunas ideas tendientes hacia la utilización de tan pocopreciado recurso, en un proceso subdesarrollado como es la fabricación de azúcar, y la influencia que en su entorno socioeconómico tendría.

#### 4.2.0.- ANTECEDENTES.

No hay evidencia del uso de la energía solar extensivamente dentro de procesos industriales, en virtud de las inversiones tan altas requeridas para los colectores y el aparentemente bajo gradiente de temperatura en función de las transferencias de masa y energía involucradas en el intercambio.

4.2.1.- La generación de energía eléctrica utilizando lagunas con sustancias salinas sobre un lecho absorbente - (4.1) está en pleno desarrollo investigativo en Israel, aunque para muy baja capacidad todavía; aproximadamente 150 KW, dado su alto costo de generación.

4.2.2.- Como aplicación específica de la industria azucarera se puede señalar el proyecto existente en Hawai que contempla el uso de espejos solares para la producción de --- energía eléctrica (4.2) mediante la construcción de una llamada "Torre de Energía Solar".

La torre depende de un enorme campo de espejos solares en forma de platos para enfocar los rayos del sol en una torre central, en la cual se produce el vapor para mover los generadores de las turbinas eléctricas. El estudio abordará también "la cogeneración", en la cual el calor que se pierde en la generación eléctrica, se aprovecha para los procesos industriales o para la calefacción o enfriamiento de los lugares.

4.2.3.- Teléfonos accionados mediante celdas solares sirven para comunicación en el desierto (4.3). Bien pudiera pensarse en desarrollar un sistema de comunicación inter-ejidal para el reporte de datos agrícolas al ingenio.

4.2.4.- Las casas solares, de las cuales hay ya algunas con diseño nacional parecen ganar terreno, condicionado desde luego, el abatimiento en los costos de fabricación de los paneles solares.

4.2.5.- El calentamiento de agua para usos domésticos y recreativos, plantea las formas más ventajosas hasta el momento.

4.2.6.- La atención a comunidades rurales marginadas, cobra mayor auge cada día, pudiéndose desarrollar sistemas de aprovechamiento de la energía solar junto con los planes que las instituciones oficiales llevan a efecto con tanto tino; pero igual retraso. Tal es el caso del sistema COPLA MAR. Con este caso, se pudieran establecer pequeñas industrias con bajos consumos de energía eléctrica y brindar el excedente para satisfactores elementales de la población.

Por otra parte, la digestión de los desechos agrícolas (tlazole en el caso de la caña) y su conversión en gas metano, ha sido objeto ya de amplia experimentación, llegándose incluso a desarrollar como sistema integral de los trapiches paneleros (4.3), por lo que, solamente se menciona en este trabajo.

#### 4.3.0.- PROYECTO DE UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

##### 4.3.1.- SECADO.

Como ha venido señalándose reiteradamente, la eliminación de la humedad del bagazo con miras al incremento de su poder calorífico, demanda grandes cantidades de energía. Resulta cuestionable pensar en proveerla de la energía solar. Por lo que, resulta más recomendable sugerir junto con un área cerrada de almacenamiento del subproducto, algunos conceptos básicos de la casa solar (energía pasiva).

Algunos fabricantes de ingenios azucareros sugieren para una molienda potencial de 6,000 ton/día; un área en la casa de bagazo de 1,200 m<sup>2</sup> (40 m. de largo, por 30 m. de ancho), con un conductor de suministro del tipo banda de hule de 1,500 mm., y 20 hp., potencia de accionamiento.

Supongamos una nave con techo del tipo 2 aguas y 5.00 m. de altura de las paredes.

Utilizando captadores solares sin cubierta (aspecto económico), se puede incrementar la temperatura del aire circulante dentro del captador, para utilizarse como elemento de calefacción dentro del área destinada al almacenamiento de bagazo.

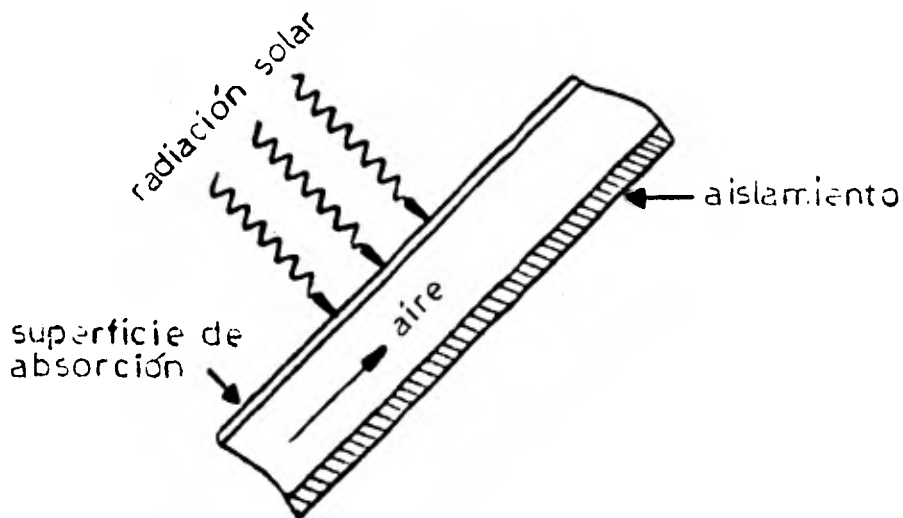


FIG. 4.1

Es importante destacar que el bagazo deberá ser enviado primeramente a almacenamiento y después de haber cedido humedad por efecto del aire caliente circulante, será enviado al área de calderas para su combustión en los hornos. Para ésto, se utilizará el procedimiento dinámico de almacenamiento: EL PRIMER BAGAZO ENTRANTE SERA EL PRIMER BAGAZO SALIENTE.

Para el efecto, se realizaron los siguientes cálculos:

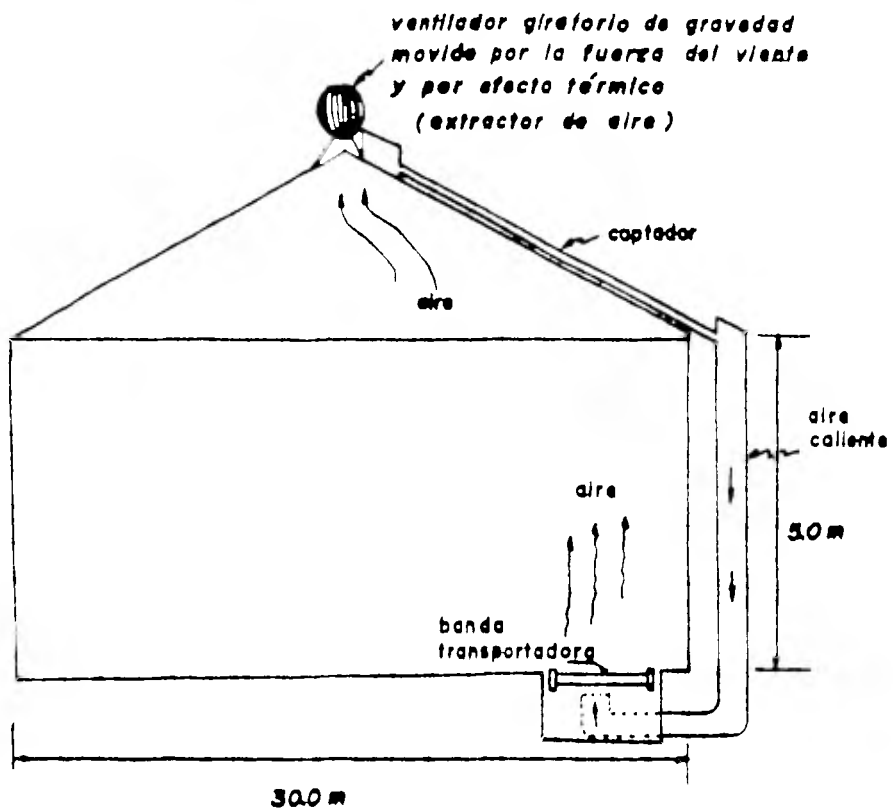
- 1.- Número de captadores.
- 2.- Area neta de captación.
- 3.- Temperatura de equilibrio de los captadores.
- 4.- Temperatura del aire a la salida de los captadores.
- 5.- Gasto másico de aire en los captadores.
- 6.- Cálculo de caída de presión en los ductos.
- 7.- Potencia del ventilador.

#### 4.3.1.1.- NUMERO DE CAPTADORES.

Considerando un ángulo de cubierta de 20°

$$\tan 20^\circ = \frac{15}{h} \quad h = \frac{15}{\tan 20^\circ} = 5.5 \text{ m} = 18.03 \text{ pies.}$$

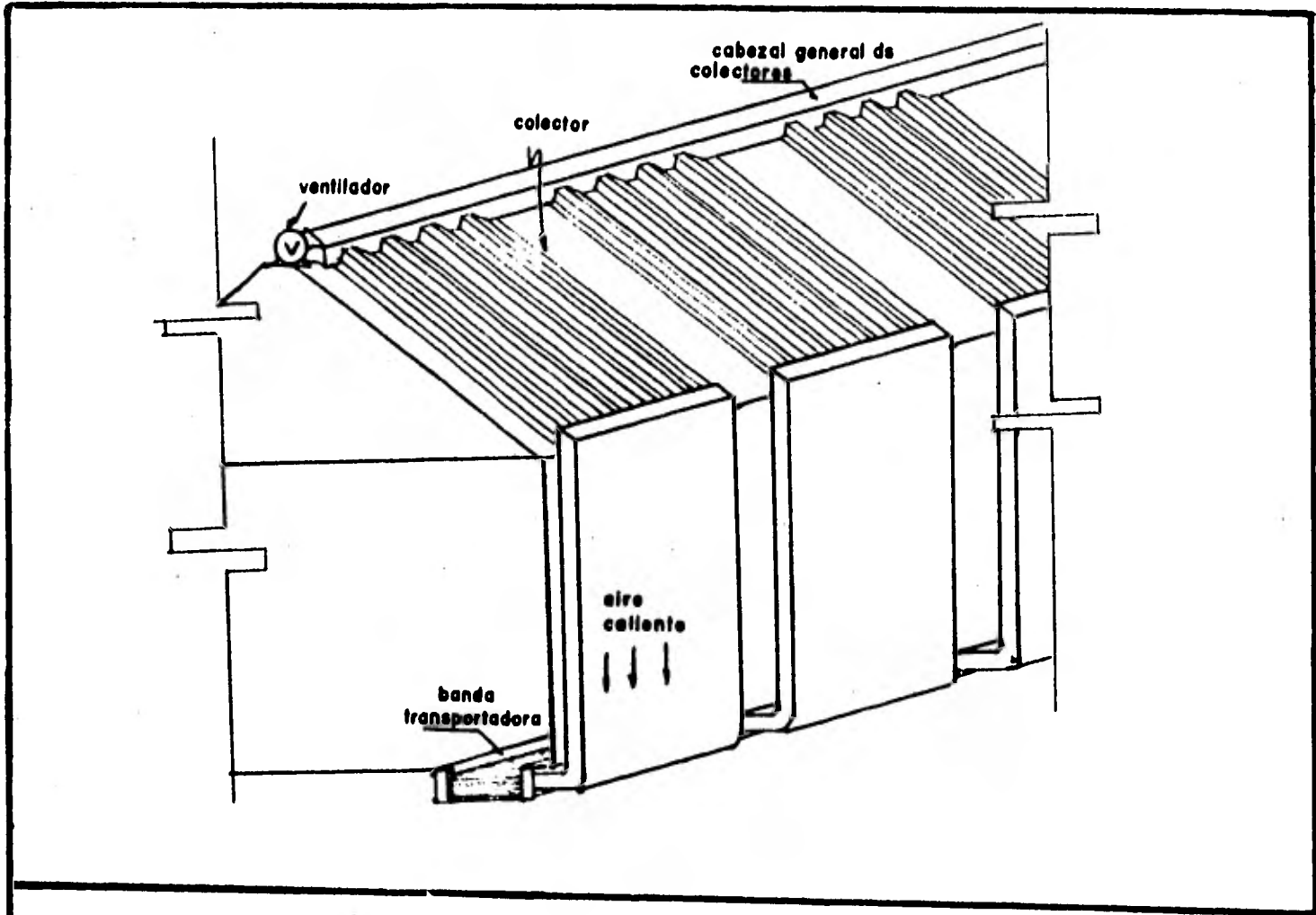
ancho de la cubierta (x)



CASA DE BAGAZO  
VISTA TRANSVERSAL

Fig. 4.2





CASA DE BAGAZO - VISTA LONGITUDINAL

Fig. 4.3

$$x = \sqrt{(h)^2 + (15)^2} = \sqrt{(5.5)^2 + (15)^2}$$

$$x = 16.0 \text{ m} = 52.45 \text{ pies.}$$

- Cálculo del número de captadores ( $N_c$ ) considerando un área de cubierta  $A = 40 \times 16 = 640 \text{ m}^2 = 6879.87 \text{ pies.}$

Se considera medio metro a cada lado del ancho de la cubierta, para los ductos principales, como se muestra en la figura 4.4.

Considerando un ancho de cada captador de 0.8 m (dato de fabricante), y una distribución de los captadores en media área de cubierta.

$$L = 20.0 \text{ m} = 65.67 \text{ pies}$$

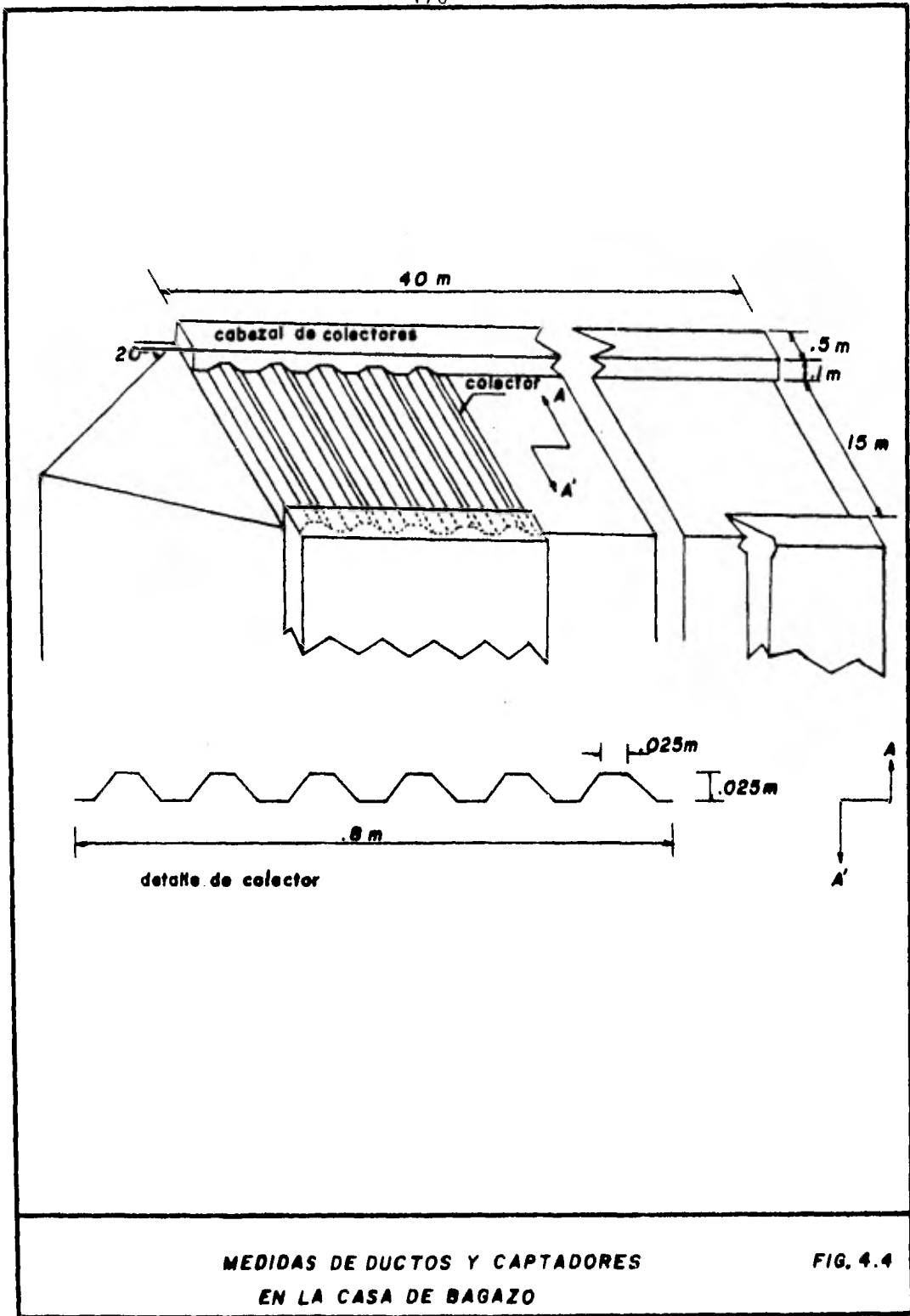
$$N_c = \frac{20.0}{0.8} \quad N_c = 25 \text{ captadores.}$$

4.3.1.2.- AREA NETA DE CAPTACION ( $A_t$ ) será descontando el área de contacto con el aislamiento ( $A'$ ) del área total  $A = 640.0 \text{ m}^2$ .

A continuación se procedió a calcular las áreas de contacto no transmisoras de calor.

$$A'_1 = 0.072 \times 15 = 1.08 \text{ m}^2 \text{ (cada área)}$$

$$A'_2 = 1.08 \times 6.0 = 6.48 \text{ m}^2 \text{ (en un captador)}$$



MEDIDAS DE DUCTOS Y CAPTADORES  
EN LA CASA DE BAGAZO

FIG. 4.4

$$A_3' = 6.48 \times 25 = 162 \text{ m}^2 \quad (\text{en los 25 captadores})$$

$$A_4' = 0.8 \times 14 \times 25 = 280 \text{ m}^2 \quad (\text{área libre de captadores})$$

$$A = 280 + 162 = 442 \text{ m}^2 \quad (\text{área a descontar, no trasmisora})$$

Por lo tanto, el área de captación solar será:

$$A_t = 640 - 442$$

$$A_t = 198.0 \text{ m}^2 = 2,128.46 \text{ ptes.}$$

#### 4.3.1.3.- TEMPERATURA DE EQUILIBRIO DE LOS CAPTADORES.

Energía radiante sobre la superficie colocada normalmente al sol (Gn). (4.4)

$$G_n = (G_0) (t_a)^m$$

$$(G_0) \text{ Constante solar} = 442 \text{ Btu/Hr-pie}^2$$

( $t_a$ ) Coeficiente de transmisión por unidad de masa depende de la condición del cielo, un valor promedio se considera (0.7) que es aceptable para muchos usos.

(m) Masa del aire relativa, definida como la razón de la longitud de la trayectoria real, a la trayectoria más corta. Esto depende de la posición del sol, dada por la distancia cenital ( $z$ ); tomamos el valor de  $17^\circ$  de acuerdo a la hora (1PM). De las gráficas de ángulos so

lares de Brown y S.M. Marco (4.5)

Sustituyendo, tenemos:

$$G_n = (442) (0.7) \sec 17^\circ$$

$$G_n = 305 \text{ Btu/Hr-pie}^2$$

Que corresponde a la radiación de un pie<sup>2</sup> de superficie colocada normal.

Como la superficie de los colectores no normal a la dirección del sol, la radiación incidente por unidad de área ( $G_j$ ) será:

$$G_j = G_n \cos i$$

de donde: (4.6)

$$\cos i = \cos z \cos \psi - \sin(z) \sin(\psi) + \sin(z) \sin(\psi) \cos A - \alpha /$$

Sabiendo que:

$$(\psi) \text{ latitud} = 21.2^\circ$$

$$(A) \text{ azimut del sol} = 56^\circ (\text{gráficas Brown y S.M. Marco})$$

Tomando en consideración la latitud y para nuestro estudio será como se mencionó a la 1PM.

$$(\alpha) \text{ ángulo de inclinación de la cara normal } 45^\circ$$

$$(z) = 17^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\cos i = \cos/17^\circ - 21.2^\circ / -\text{sen } 17^\circ \text{sen } 21.2^\circ + \text{sen } 17^\circ \text{sen } 21.2^\circ \cos/56^\circ - 45^\circ /$$

$$\cos i = 0.994$$

La radiación incidente en la superficie inclinada:

$$G_i = (305) (0.994)$$

$$G_i = 303.17 \text{ Btu/Hr-pie}^2$$

La rapidez de absorción de calor del material ( $q_s$ )

$$q_s = (\alpha) (G_i)$$

$$(\alpha) \text{ absorbencia para el material fierro} = 0.9$$

$$q_s = (\alpha) (G_i) = (0.9) (303.9)$$

$$q_s = 272.85 \text{ Btu/Hr-pie}^2$$

que es la radiación directa.

En un día claro, la radiación atmosférica es aproximadamente --  
10% de la radiación directa, de donde podemos obtener la radiación difusa.

$$q_a = (0.10) (272.85)$$

$$q_a = 27.285 \text{ Btu/Hr-pie}^2$$

La rapidez con que emite radiación la superficie está  
dada:

$$q_r = (\epsilon) (\sigma) (T_s)^4$$

( $\epsilon$ ) = 0.06 emisividad considerando el material y una temperatura promedio.

( $\sigma$ ) =  $0.172 \times 10^{-8}$  Btu/Hr-pie<sup>2</sup>°R<sup>4</sup>, cte de Stefan Boltzmann

Sustituyendo datos:

$$q_r = (0.06)(0.172 \times 10^{-8})(T_s) : \dots \dots \dots (1)$$

La rapidez de flujo de calor por convección hacia el aire de los alrededores ( $q_c$ )

$$q_c = h_c (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2)$$

( $T_\infty$ ) temperatura ambiente + 27°C = 80.6°F = 540.6°R

( $T_s$ ) temperatura de equilibrio de la superficie del captador.

( $h_c$ ) coeficiente de transferencia de calor por convección.

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor ( $h_c$ ) (4.7)

$$h_c = (N_{u1}) \left( \frac{K}{L} \right)$$

El número de Nusselt ( $N_{u1}$ ) se calcula en función del número de Reynolds ( $R_e$ ) y el número de Prandtl ( $P_r$ ), expresada en la siguiente forma:

$$N_{u1} = 0.036 (R_e)^{0.8} (P_r)^{0.33}$$

suponiendo una velocidad del aire dentro de los ductos de - -  
 $v = 10$  pies/sg, calculamos el número de Reynolds por medio de  
 la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{(\rho) (v) (L)}{\mu}$$

Para el efecto, se toman los siguientes valores del  
 aire a una temperatura de  $37^\circ\text{C}$ .

$$K = 0.0154 \text{ Btu/Hr-pie-}^\circ\text{F}$$

$$\rho = 0.071 \text{ Lbm/pie}^3$$

$$C_p = 0.24 \text{ Btu/lbm - }^\circ\text{F}$$

$$P_r = 0.72$$

$$\mu = 1.285 \times 10^{-5} \text{ lbm/pie-sg}$$

Para el ducto principal  $L = 40.0 \text{ m} = 131.15 \text{ pies}$

$$R_e = \frac{(0.071)(10)(131.15)}{1.285 \times 10^{-5}} = 72.46 \times 10^5$$

en los ductos transversales  $L = 14 \text{ m} = 46 \text{ pies}$

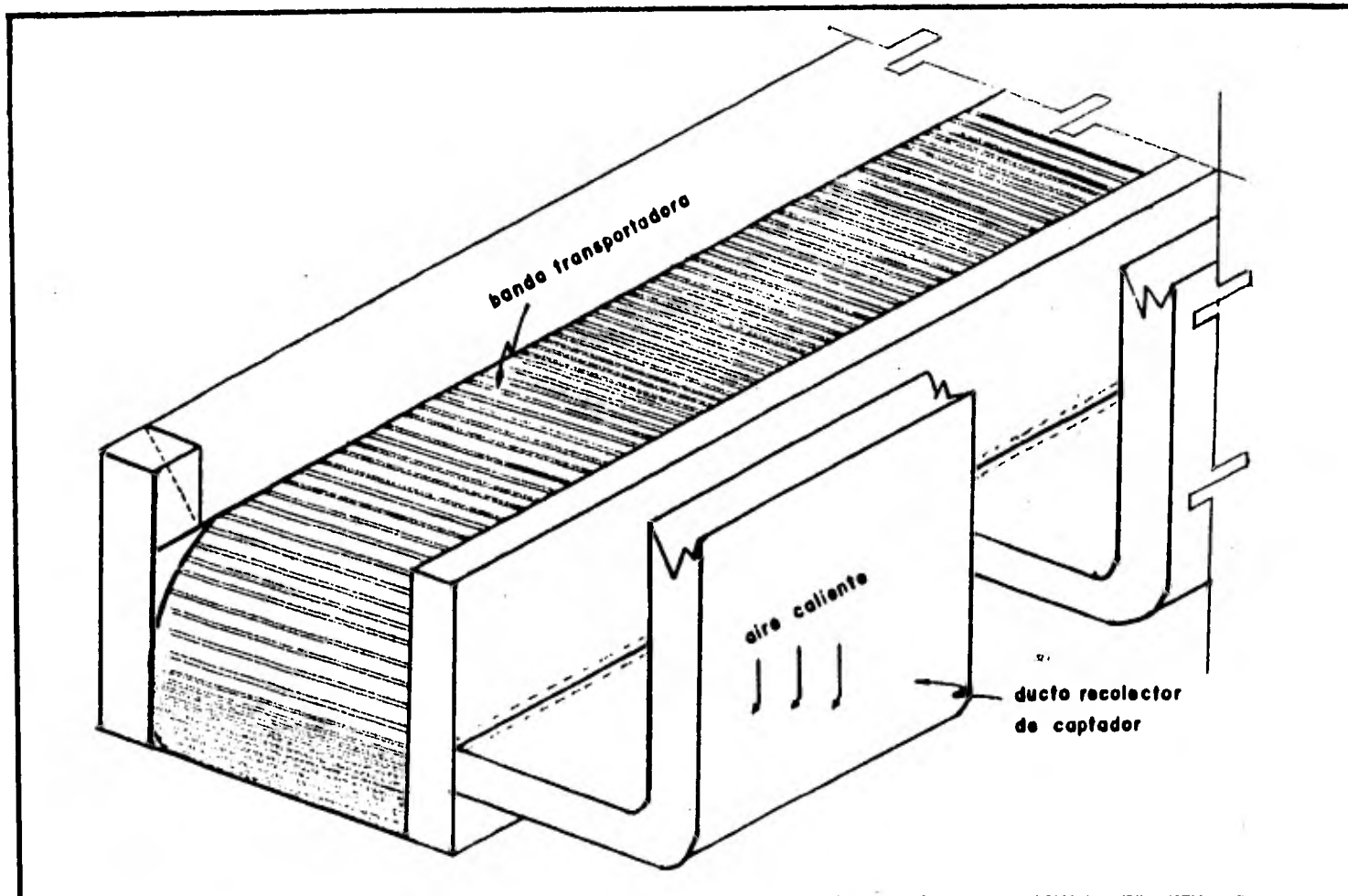
$$R_e = \frac{(0.071)(10)(46)}{1.285 \times 10^{-5}} = 25.42 \times 10^5$$

Número de Nusselt respectivos

$$N_{u1} = 0.036 (72.46 \times 10^5)^{0.8} (0.72)^{0.33} = 9,927.3$$

$$N_{u1} = 0.036 (25.42 \times 10^5)^{0.8} (0.72)^{0.33} = 4,299$$





DETALLE DEL TRANSPORTADOR

Fig. 4.5

Por lo tanto, podemos calcular el coeficiente ( $h_c$ )

$$h_c = \frac{(9,927.3)(0.0154)}{131.15} = 1.165 \text{ Btu/Hr-pie}^2 - ^\circ\text{F}$$

$$h_c = \frac{4299 (0.0154)}{46} = 1.439 \text{ Btu/Hr-pie}^2 - ^\circ\text{F}$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente ( $\bar{h}_c$ ) promedio (4.7)

$$H_c = 2h'_c \quad (4.7)$$

$$\text{donde: } h'_c = \frac{1.165 + 1.439}{2} = 1.302$$

$$h_c = 2(1.302) = 2.604 \text{ Btu/Hr-pie}^2 - ^\circ\text{F}$$

regresando a la ecuación (2)

$$q_c = (2.604) (T_s - 540.6)$$

$$q_c = 2.604 (T_s) - 1,407.7$$

El equilibrio se establece cuando la temperatura de la superficie alcanza un valor al que se igualan la rapidez del flujo de calor hacia y desde la superficie que se obtiene cuando el calor neto ( $q_n = 0$ ). (4.7)

$$q'_s = q_r + q_c \quad (\text{calor hacia el cuerpo})$$

$$q'_s = q_s + q_a \quad (\text{calor que absorbe el cuerpo})$$

como se mencionó en el párrafo anterior, igualamos los calores:

$$q_s + q_a = q_r + q_c$$

$$300.135 = 1.032 \times 10^{-10} (T_s)^4 + 2.604 (T_s) - 1,407.7$$

De esta ecuación, podemos calcular la temperatura de equilibrio en la superficie del colector, por el método de -- aproximaciones sucesivas.

Desarrollando se tiene:

$$T_s = 649^\circ R = 189^\circ F = 87^\circ C$$

#### 4.3.1.4.- TEMPERATURA DE SALIDA DEL AIRE ( $T_{sa}$ )

Para lo cual, tenemos que encontrar la conductancia total (UA) (4.7)

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h'_a A_t} + \frac{1}{h_a A_t}} \quad \text{Btu/Hr} - ^\circ F$$

Tomando en cuenta que  $A_t = 12.8 - 6.48 = 6.32 \text{ m}^2 = 67.93 \text{ pies}^2$  que es el área de transferencia de calor de -- cada captador.

$$h_{L40} = 1.165 \text{ Btu/Hr-pie}^2 - ^\circ F$$

$$h_{L14} = 1.439 \text{ Btu/Hr-pie}^2 - ^\circ F$$

sustituyendo tenemos:

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{(1.165)(67.93)} + \frac{1}{(1.439)(67.93)}}$$

$$UA = 43.74 \text{ Btu/Hr} - ^\circ\text{F}$$

El número de unidades de transferencia de calor NUT que es una medida de la magnitud de la transferencia calórica del cambiador, que mientras mayor sea este número, más se --- aproximará a su límite termodinámico.

$$NUT = \frac{UA}{C_m} = \frac{43.74 \text{ Btu/Hr} - ^\circ\text{F}}{(1300.392 \text{ Lb/Hr})(0.24 \text{ Btu/Lb} - ^\circ\text{F})}$$

$$NUT = 0.14015$$

Para encontrar la temperatura de salida del aire ---  
( $T_{sa}$ ) (4.8)

$$T_{sa} = T_{\infty} + \frac{C_g}{C_a} (\xi) (T_{max})$$

Se requiere saber:

$\frac{C_g}{C_a}$  rapidez de capacidad calorífica por hora. Para nuestro caso, la placa es calentada por radiación y transmite calor por convección al flujo de aire, o sea, nuestra relación es:

$$\frac{C_g}{C_a} = \frac{(m_g) (C_{pa})}{(m_a) (C_{pa})} = \frac{3}{5} = 0.6$$

Para encontrar la efectividad ( $\xi$ ) del intercambiador de calor para fluidos sin mezclar, entramos a las cartas: efectividad, contra número de unidades de transferencia (4.8) de las cartas tenemos:  $\xi = 0.30$

Sustituyendo datos:

$$T_{sa} = 80.6 + (0.6) (0.30) (189)$$

$$T_{sa} = 574.62^\circ\text{R} = 114.63^\circ\text{F} = 50^\circ\text{C}$$

que es la temperatura de salida del aire.

#### 4.3.1.5. GASTO MASICO DE AIRE EN LOS CAPTADORES.

Para el efecto, tomamos la temperatura media de la película:

$$T_m = \frac{T_s + T_w}{2} = \frac{649 + 540}{2}$$

$$T_m = 594.5^\circ\text{R} = 134.5^\circ\text{F} = 56^\circ\text{C}$$

La densidad del aire a esta temperatura = 0.067205 Lb/pie<sup>3</sup>

Sabemos que el área de la sección transversal del ducto principal es:

$$A = 0.5375 \text{ pies}^2$$

Para el gasto másico:

$$m = (\rho) (A) (V)$$

donde (V) es la velocidad = 10 pies/seg.

Por lo tanto, el gasto másico será:

$$m = (0.067205) (0.5375) (10)$$

$$m = 0.361 \text{ Lb/sg} = 322.5 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

#### 4.3.1.6.- CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN LOS --- DUCTOS.

-En los ductos transversales  $L = 15 \text{ m} = 49.213 \text{ pies}$ , tenemos que considerar una fracción de masa que pasa por cada área transversal:

$$A = (0.025) (0.025) = 6.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.00694 \text{ pies}^2$$

-Gasto que pasa por cada ducto:

$$Q = \frac{322.5}{(25) (6)} = 2.15 \text{ pie}^3/\text{minuto}$$

-Velocidad del aire en cada ducto:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.15}{0.00694} = 309.798 \text{ pie/min} = 5.16 \text{ pie/sg.}$$

con el gasto másico por ducto, y la velocidad, encontramos el coeficiente de fricción  $f = 1.5$

Con la siguiente fórmula, calculamos la caída de presión: (4.9)

$$P = \frac{(f) (L) (\rho) (V)^2}{8 (g) (w)}$$

$$\rho = 0.067205 \text{ Lb/pie}^3 \quad (\text{densidad del aire})$$

$$V = 5.1633 \text{ pie/sg} \quad (\text{velocidad por ducto})$$

$$g = 32.2 \text{ pie/seg}^2$$

$$w = \frac{(L) (d)}{2 (L+d)} = \frac{(0.0812) (0.0812)}{2(0.0812+0.0812)} = 0.0205 \text{ pies} \quad (\text{factor})$$

para ductos rectangulares.

Sustituyendo valores:

$$P = \frac{1.5 (49.213)(0.067205)(5.16)^2}{8 (32.2) (0.0205)}$$

$$P = 25045 \text{ Lb/pie}^2 \quad \text{en cada ducto}$$

en los 25 captadores, teniendo 6 ductos, cada captador será:

$$P = (25) (6) (25.045)$$

$$P_1 = 3756.81 \text{ Lb/pie}^2$$

Las pérdidas debidas al cambio de dirección (4.10)

$$H_r = \frac{(f) (V)^2}{2 (g)} \quad (\text{pies})$$

$$f = 2 \quad (\text{coeficiente adimensional de pérdidas secundarias})$$

$$H_r = \frac{2 (5.16)^2}{2 (32.2)} = 0.8279 \text{ pies}$$

la caída de presión será:

$$P = (0.8279) (0.067505)$$

$$P = 0.0555 \text{ Lb/pie}^2 \quad \text{en un sólo ducto transversal.}$$

en los 25 captadores será:

$$P = (0.0555) (25) (6)$$

$$P_2 = 8.34 \text{ Lb/pie}^2$$

-Caída de presión en el ducto principal:

de sección 0.5 por 0.10 metros ó 1.64 por 0.327 pies y sabiendo que:

$$L = 40 \text{ m} = 131.4 \text{ pies}$$

el factor para ductos rectangulares:

$$w = \frac{(0.327) (1.64)}{2(0.327 + 1.64)} = 0.136 \text{ pies}$$

teniendo en cuenta los siguientes datos, procedemos a calcular la caída de presión en el ducto principal:

$$V = 10 \text{ pies/sg}$$

$$f = 0.07$$

$$\rho = 0.067265 \text{ Lb/pie}^3$$



por lo tanto:

$$p = \frac{0.07 (131.4) (0.067265) (10)^2}{8 (32.2) (0.136)}$$

$$P_3 = 1.76 \text{ Lb/pie}^2$$

-La caída de presión en los ductos verticales  $L=6m = 19.6$  pies de sección 1.6 por 0.10 m ó 5.25 por 0.33 pies.

Factor para ductos rectangulares:

$$w = \frac{(5.25) (0.33)}{2(5.25 + 0.33)} = 0.15 \text{ pies}$$

masa que circula dentro del ducto, si sabemos que por cada -- ducto transversal circulan 2.15 pies<sup>3</sup>/min y tenemos seis ductos por cada colector, por lo tanto, el gasto de aire que circula por cada ducto vertical será:

$$Q = 6 (2.15) = 12.9 \text{ pies}^3/\text{min.}$$

donde:

$$V = 10 \text{ pie/seg}$$

$$f = 0.5$$

Sustituyendo valores:

$$p = \frac{0.5 (19.67)(0.067205)(10)^2}{8 (32.2) (0.15)} = 1.71 \text{ Lb/pie}^2$$

Caída de presión en los 25 ductos verticales será:

$$P_4 = 1.71 (25) = 42.75 \text{ Lb/pie}^2$$

-Las pérdidas debidas al cambio de dirección:

$$H_r = \frac{(f) (V)^2}{2 (g)} = \frac{2 (10)^2}{2(32.2)} = 3.11 \text{ pies}$$

como se observa en la figura, tenemos dos cambios de dirección en los ductos verticales, por lo tanto:

$$H_r = 3.11 (2) = 6.22 \text{ pies}$$

en los 25 ductos verticales:

$$H_r = 25(6.22) = 155.5 \text{ pies}$$

cambiando unidades:

$$P = (K) (H_r) = (0.06705) (155.5)$$

$$P_5 = 10.426 \text{ Lb/pie}^2$$

sumando las pérdidas para el ducto vertical:

$$P = 42.75 + 10.426 = 53.18 \text{ Lb/pie}^2$$

La caída de presión en todo el sistema:

$$P_T = 3756.81 + 8.34 + 1.76 + 42.74 + 10.45$$

$$P_T = 3820.09 \text{ Lb/pie}^2$$

## 4.3.1.7.- POTENCIA DEL VENTILADOR.

Sabemos que el gasto másico es 5.375 pies<sup>3</sup>/sg.  
y la potencia se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{Pot} = (Q) (P_t) = 5.35 (3820.09) = 20532.983 \text{ Lb-pie/sg.}$$

convirtiendo en HP: Pot = 37.35 H.P.

## 4.4.0.- OTRAS APLICACIONES.

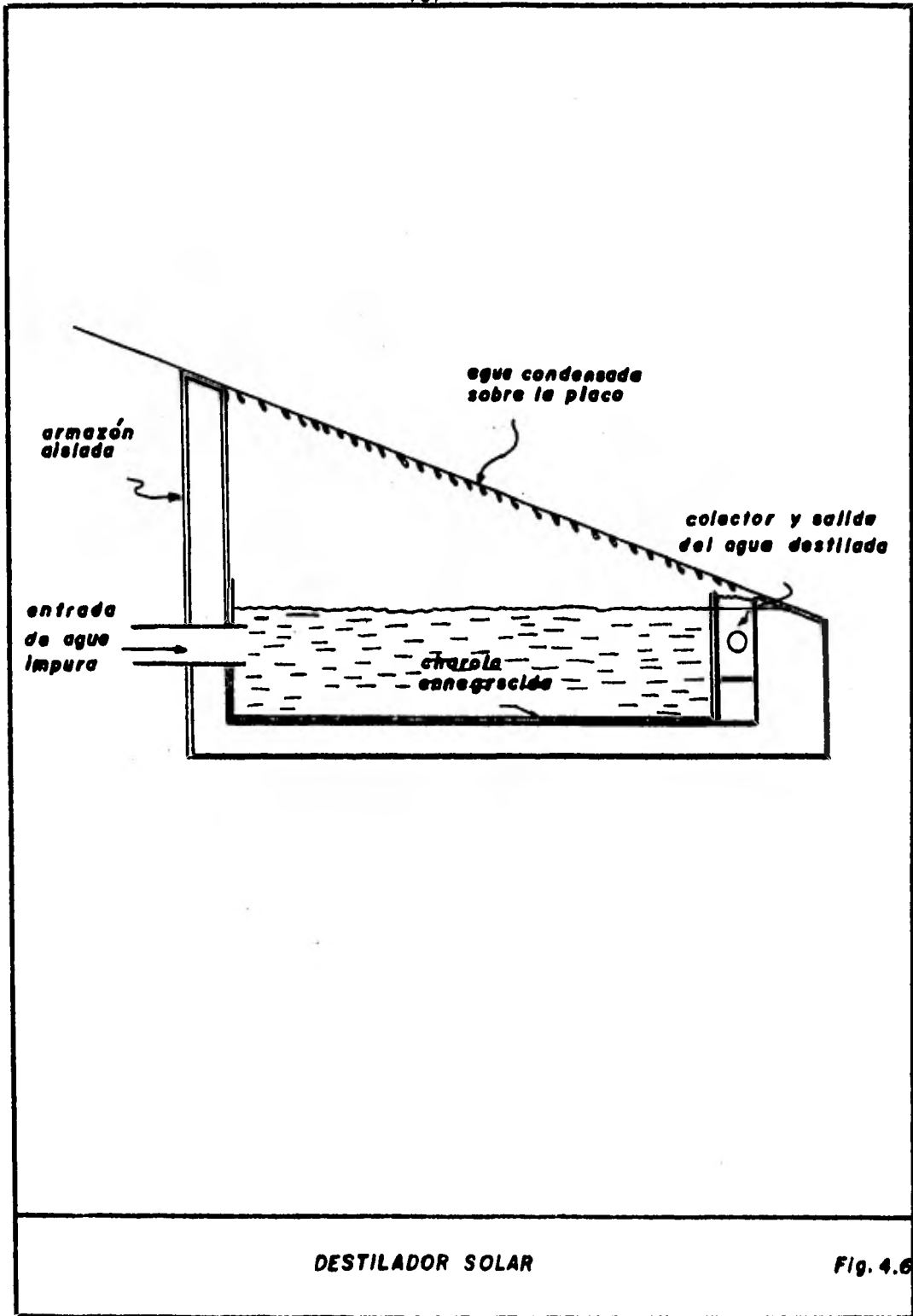
## 4.4.1.- DESTILACION DE AGUA.

La necesidad de contar con cantidades relativamente pequeñas de agua destilada en el laboratorio químico, para llevar a cabo pruebas de control de calidad de los materiales de proceso hace necesario contar con un destilador de agua -- del tipo convencional; cuya fuente de calor es una resistencia eléctrica o un mechero de gas.

El precio de estos equipos (conjunto integrado) puede fluctuar aproximadamente entre \$5,500.00 y \$ 34,500.00 -- (4.11); dependiendo en todos los casos de la energía externa para calefacción.

La utilización de los destiladores solares para este fin, pudiera desarrollarse como parte integral del laboratorio en un área anexa o bien en el techo del laboratorio.

Un destilador solar típico como el de la figura 4.6



DESTILADOR SOLAR

Fig. 4.6

se estima aproximadamente en \$ 3,500.00.

El flujo de agua destilada obtenida por día con ambos sistemas, estaría dentro del rango de 3.700 a 5.500 litros.

4.4.1.1.- FUNCIONAMIENTO.- La forma como funciona el destilador solar es igual al proceso de evaporación natural, mediante el cual el agua de mar se convierte en agua dulce.

En la naturaleza esto sucede así. El agua de los mares es calentada por el sol, de su superficie se desprende vapor, mismo que, por la acción del calor sube y forma las nubes. Cuando éstas llegan a una zona fría, se condensan y convierten en gotas de lluvia o en nieve, la cual riega la tierra y da origen a los lagos, ríos y depósitos subterráneos, etc., de donde obtenemos el agua que utilizamos para nuestra vida diaria. Posteriormente, el agua de los lagos y ríos se dirige al mar para convertirse nuevamente en agua salada.

Para hacer este ciclo en pequeño, y obtener agua dulce, se utiliza el destilador solar, el cual nos permite aprovechar los rayos del sol para evaporar el agua y desalarla simultáneamente en la forma siguiente:

Los rayos solares que penetran a un espacio cerrado a través de una cubierta inclinada y transparente, son absor-

bidos por el agua que está dispuesta en un recipiente o charola de color negro (4.12). El agua entonces se calienta a -- una temperatura más baja que su punto de ebullición, produciéndose así una mezcla aire-vapor en la superficie del agua. Con una temperatura más alta y una densidad menor que el agua que está abajo de la superficie de la misma. Esta mezcla -- aire-vapor, comienza a subir por convección.

Al llegar a la superficie interior de la cubierta -- transparente, se enfría y se condensa. Debido a la inclinación de la cubierta transparente, corre el agua ya condensada hasta los canales colectores donde se juntan el agua que se ha evaporado. Es así como se obtiene agua destilada.

En los destiladores que no tienen salida continua -- del agua, ésta se debe cambiar cada 2 ó 3 días.

Asimismo, si no se cambia constantemente, se producen incrustaciones que obstruyen las conexiones de entrada y salida. Las incrustaciones se eliminan limpiando la charola y las conexiones con una solución de agua y ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, en proporciones de 1 ml., de ácido por un litro de agua.

El destilador solar se hace e instala de forma tal, que se facilite su limpieza manual cuando están sucias las -- conexiones o la charola.

El destilador solar, funcionaría mejor instalado en

zonas de buena insolación, en lugares con muchos días calurosos y claros (sin nubes).

Para que funcione bien el destilador, debe ser orientado de manera que siempre logre captar la luz del sol, y si se instala inclinado, debe ser tal, que reciba siempre la luz del sol lo mejor posible. Esto será de acuerdo a la trayectoria de sol y a la latitud del lugar donde estará instalado.

#### 4.4.1.2.- REPRESENTACION APROXIMADA DE CALOR POR -- CONVECCION.

La superficie de la placa está a una temperatura  $T$ .- Sobre la capa absorbadora, podemos expresar una medida, o un coeficiente de calor por unidad de área enmedio de las dos -- placas que por convección tenemos la fórmula (4.12).

$$q = h(T - T_1)$$

(q) Cantidad de calor por unidad de área.

(h) Coeficiente de transferencia de calor por unidad de área.

(T) Temperatura del aire caliente.

( $T_1$ ) Temperatura sobre la placa absorbadora.

El proceso de convección se muestra en la figura 4.7. Existen dos corrientes de aire, el flujo de masa cuya medida es "m", por unidad de tiempo. La energía interna que posee el aire que está a una temperatura  $T$  es  $CT$ , por unidad de ma-

sa. Es una propiedad similar a la de un gas ideal donde "G" es el calor específico del aire, entonces la corriente de calor parte de la superficie de abajo, y por la energía interna medida como MCT. Así el intercambio de calor neto entre la superficie y la corriente de aire es:

$$q = MC (T-T_1)$$

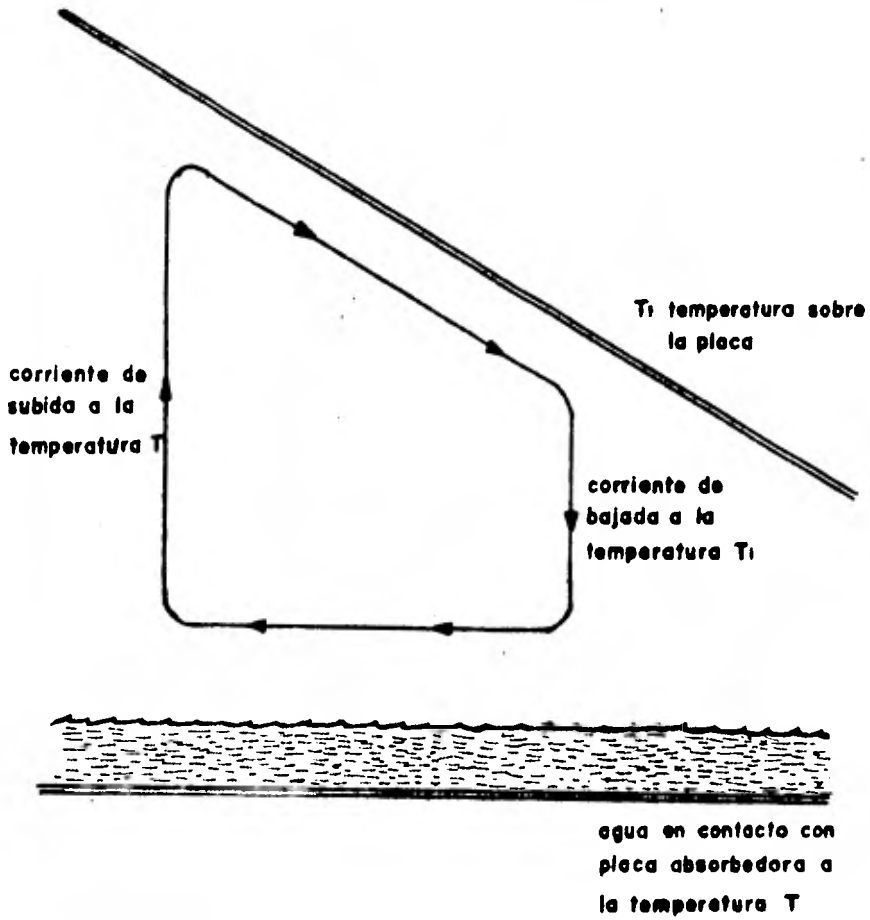
Comparando las dos ecuaciones anteriores, mostrando la medida de masa y el flujo de aire, idealizado la corriente por convección en el espacio convenido. tenemos:

$$(M) (C) = h \quad \text{ó} \quad M = \frac{h}{C}$$

Otra probable utilización, ya demostrada en la Unión Soviética (4.13), son los alambiques solares para abrevaderos de ganado. Se reporta una destilación equivalente a 3 toneladas de agua cada 24 horas.

Aprovechando la idea de crear los ejidos "CAÑERO-GANADERO-AZUCARERO" (4.14) se tendría un aprovechamiento potencial para aquellas zonas de temporal, de las cuales existen muchas en el país, que por errores de estrategia agropecuaria, las autoridades en materia han facilitado ganado en zonas tradicionalmente cañeras, convirtiendo a estos ejidatarios en malos cañeros y pésimos ganaderos.





DESTILACION DE AGUA POR CONVECCION

Fig. 4.7

## 4.4.2.- COCINAS SOLARES.

La realidad de los cortadores de caña (parias de la industria), es bien conocida por el grado de explotación al que son sometidos. Las zonas cañeras se convierten durante la época de zafra en grandes mercados del recurso humano tanpreciado para las desgastadoras y mal remuneradas labores de cosecha. Esto, de por sí, ha dado mucho de qué hablar, pero bien poco se ha hecho por remediarlo. No hay que olvidar que es un problema crónico de la estructura socioeconómica -- del campo en México.

Pruebas realizadas en el norte de México (4.16) hablan de la utilización de cocinas solares en comunidades indígenas.

La utilización de estas cocinas de energía solar (en sustitución de leña, carbón y petróleo), bien vale la pena experimentar junto a los albergues. Bien valdría la pena experimentar la utilización de estas cocinas de energía solar (en sustitución de aquellas que funcionan con leña, carbón y petróleo), junto a los albergues, conocidos por galeras de cortadores. De esta forma, en colaboración conjunta con instituciones de asistencia social y un poco de buena voluntad de parte de los representantes de la industria se podrían desarrollar comedores colectivos para mejorar la dieta alimenticia de los trabajadores y sus familias.

Estamos conscientes de que este sistema no representa ventajas económicas por el momento. Sobre todo, por el bajo costo y la facilidad de obtener los combustibles substituidos. Pero ayudará a crear las condiciones para una mejor convivencia, que bien pudiera aprovecharse para divulgación de nuevas técnicas de cosecha, hábitos de limpieza y otros temas, más que técnicos, de índole social, que sin duda alguna, repercutirán en el bienestar de los cortadores, sostén de la industria.

#### 4.4.3.- CALENTAMIENTO DE AGUA PARA FINES DOMESTICOS.

La utilización del sol para calentar agua, es quizá la vía más antigua de hacerlo y la que a su vez, ha sido la más expandida hasta nuestros días, según fuera indicado ya en el preámbulo.

##### 4.4.3.1.- DUCHA CARERA.

Se reporta una aplicación típica de los colectores dentro de la industria azucarera con la denominada "ducha carera" desarrollada por el Departamento de Energía Solar adscrito al Instituto de Investigaciones Técnica-Fundamental de la Academia de Ciencias de Cuba. (4.15).

Este calentador tiene la característica de servir a la vez como tanque de almacenamiento y como colector, dado el gran diámetro de sus conductos. Esto posibilita el calenta-

miento rápido a baja temperatura, de una gran masa de agua, - para su utilización dentro de la jornada diaria.

Las justas demandas sindicales transformadas en realidad mediante el establecimiento de bien planeadas zonas habitacionales, pudiera complementarse con la instalación de -- sistemas solares para calentamiento de agua como el mostrado, con las cuales, el ahorro de gas beneficiaría la economía doméstica (sirviendo como distracción extralaboral el mantenimiento del sistema).

Existen en el mercado gran variedad de diseños de ca lentadores solares, cuyo precio fluctúa en función de la sofisticación de los mismos, así como del volumen de agua e incremento de temperatura que logran.

Algunos colectores solares comerciales para agua caliente en el país, tienen las siguientes especificaciones --- (4.17)

ANCHO	-	1.00 m
LARGO	-	3.09 m
ALTO	-	0.07 m.
PESO	-	50 Kg.

PRUEBA PRESION  
HIDROSTATICA - 6.8 Kg/cm<sup>2</sup>

CAPACIDAD - 7,200 Kg.cals/día a una radiación solar de 480 cal/cm<sup>2</sup>/día.

Superficie de captación solar - 2.93 m<sup>2</sup>

#### CARACTERISTICAS

De cobre; terminación en negro sensitivo; marco lámina galvanizada de acero; aislamiento poliestireno de 2.5 cm. - de espesor; soldadura de plata y de plomo ZINC 50/50.

Cubierta exterior vidreo o polipropileno.

Montaje - sobre los anchos del colector.

Pendiente mínima para drenarlo - 5%

Orientación - largo del colector en dirección  
NORTE-SUR.

Gasto de recirculación recomendado 2 lts. de agua o fluido/minto.

Pérdida de carga o gasto anterior - 0.8 m de columna de agua.

El número de colectores necesarios para uso doméstico se calcula en función del número de personas que habitan la casa. Digamos que cada persona requiere 60 lts. de agua caliente por día a una temperatura de aproximadamente 36°C.

Si consideramos a una familia promedio de 8 personas y que la temperatura ambiente del agua es de 20°C, la demanda de calor y/o el número de colectores será:

Calor/día/persona = 60Lts. x (36° - 20°) = 960Kg. calor/día/persona.

Calor/día/8 personas = 8 x 960 = 7680 Kg. cal/día.

Se sugiere suponer pérdidas de calor durante la noche en tanque de almacenamiento y tubería del 50%, resulta entonces:

Calor necesario = 7,680 x 1.5 = 11,520 Kg.cal/día.

Número de colectores

necesarios/casa habitación =  $\frac{11,520 \text{ Kg.cal/día}}{7,200 \text{ Kg.cal/día}}$  1.6 colectores

Se requieren dos colectores/casa habitación, o en su defecto, un solo colector servirá para una casa habitación -- con 5 personas, de acuerdo con los siguientes cálculos:

$$1.5 \times = 7200$$

$$\times = \frac{7200}{1.5} = 4,800$$

$$4,800 = \times 960$$

$$\times \frac{4,800}{960} = 5 \text{ personas}$$

La inversión necesaria se puede estimar en lo siguiente:

## CASA HABITACION 5 PERSONAS

	TOTAL
(1) Colector solar	\$ 11,000.00
(1) Tanque de almacenamiento 200 lts. y tubería.	\$ 5,000.00
Montaje	\$ 3,500.00
	<hr/>
SUB-TOTAL	\$ 19,500.00
IMPREVISTOS 15%	\$ 2,925.00
	<hr/>
INVERSION TOTAL ESTIMADA	\$ 22,425.00

Para el caso de dos colectores, la inversión se incrementaría en un 70%. La vida útil de estos sistemas se puede estimar en unos 10 años, con gastos insignificantes por concepto de mantenimiento. Por estas causas, la inversión será amortizable en breve plazo.

Como ya fuera indicado, en países como el nuestro, donde el precio del combustible y el gas es relativamente bajo, se hace necesario minimizar la inversión para hacerla costeable. Tal situación viene a representar un reto para la investigación sobre la posible utilización de materiales derivados de la caña de azúcar, tales como los tableros aglomerados de bagazo, o bien una cama de bagacillo (pith o médula) seco, para sustituir al poliestireno como elemento aislante.

Es necesario también señalar que a lo largo de muchos años de investigación mundial sobre la materia, se han desarrollado técnicas para la fabricación de colectores solares económicos, los cuales bien pudieran fabricarse con gran parte de la chatarra existente en los patios de los ingenios.

#### 4.4.4.- OPCIONES COMPLEMENTARIAS.

Secado de bagazo en un transportador cubierto. El mecanismo se indica en la figura 4.8 en un corte transversal del transportador.

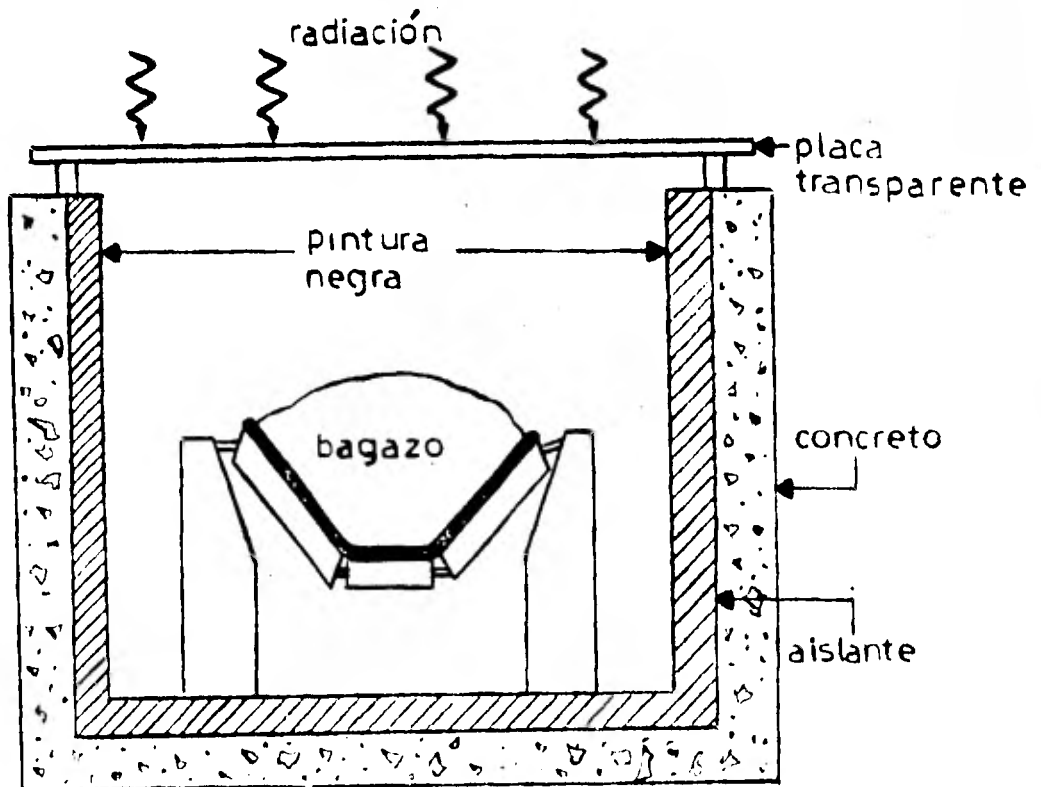


Fig. 4.8



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

- (4.1).- Industrial World - Revista
- (4.2).- Pioneer Mill. En la Isla de Mawi.
- (4.3).- Conacyt. Revista "Ciencia y Desarrollo"
- (4.4).- H. Heywood Solar Energy; post, present and Future Applications.
- (4.5).- A.I. Brown y S.M. Marco Introduction to Heat Transfer.
- (4.6).- W.J. Humphreys Physics of the Air.
- (4.7).- Frank Kreith. "Principios de Transferencia de Calor"
- (4.8).- W.M. Kays y A.L. London Compact Heat Exchangers, -- National Press.
- (4.9).- J. Lewis Aire Acondicionado y Refrigeración.

- (4.10).- Claudio Mataix Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.
- (4.11).- Cole Parmer Catalog 1981-1982.
- (4.12).- B.J. Brinkworth "Solar Energy for man"
- (4.13).- Granja Estatal Bajarden de Karakum U.R.S.S.
- (4.14).- Industrialización Integral de los Sub-Productos de la Caña de Azúcar. Tesis F.I.U.N.A.M.
- (4.15).- Instituto de Investigación Técnica Fundamental de la Academia de Ciencias de Cuba. Revista Bohemia.
- (4.16).- Almanza S.R. López 1978 "Radiación Global en la República Mexicana Mediante Datos de Insolación.
- (4.17).- Instalación Técnica Especializada, S.A.

## 5.0.- C O N C L U S I O N E S

Habiéndonos enfocado principalmente hacia el estudio de los combustibles y algunas mejoras para optimizar su aprovechamiento en los ingenios azucareros, hemos dado prioridad a aquellos proyectos con posibilidades de utilización en nuestro país:

- Quemado de gas natural.
- Secado del bagazo.
- Aprovechamiento de la energía solar.

Con el descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos en el país y la existencia de redes de distribución de gas natural cercanas a los ingenios azucareros, se hace posible el desarrollo de otras tecnologías para aprovechar este recurso.

Estas circunstancias nos llevaron a plantear el uso

## 5.0.- C O N C L U S I O N E S

Habiéndonos enfocado principalmente hacia el estudio de los combustibles y algunas mejoras para optimizar su aprovechamiento en los ingenios azucareros, hemos dado prioridad a aquellos proyectos con posibilidades de utilización en nuestro país:

- Quemado de gas natural.
- Secado del bagazo.
- Aprovechamiento de la energía solar.

Con el descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos en el país y la existencia de redes de distribución de gas natural cercanas a los ingenios azucareros, se hace posible el desarrollo de otras tecnologías para aprovechar este recurso.

Estas circunstancias nos llevaron a plantear el uso

de una turbina de gas (para la producción de energía mecánica, eléctrica y calorífica] cuya rentabilidad es satisfactoria, - al mismo tiempo que se reduce la cantidad de bagazo quemado, - incrementando de esta forma su aprovechamiento como materia - prima en otras industrias.

Por otro lado, mucho se ha especulado sobre la conveniencia de disminuir el grado de humedad del bagazo al salir de los molinos, conociéndose la repercusión que en su poder - calorífico provoca.

Obviamente, en nuestro país, donde no se conoce a -- ciencia cierta -por falta de equipos confiables de medición- el régimen de suministro de agua al molino, es común encon--- trarse con promedios de humedad en el bagazo que van desde el 51% hasta el 55%. Esto trae como consecuencia, una merma en su aprovechamiento como combustible ya que, exige una demanda mayor de calorías para evaporar el agua contenida en él.

A pesar de los múltiples intentos por reducir la humedad del bagazo poco se ha logrado al respecto y como consecuencia se carece de parámetros técnicos confiables para el - diseño de secadores de este tipo de material. Los problemas fundamentales que se han presentado son los siguientes:

- El secado del bagazo debe ser continuo para evi-- tar su almacenamiento que involucra problemas de espacio, descomposición y hasta de posibles incenu

dios.

- Estos secadores manejan grandes cantidades de bagazo.
- Como consecuencia del inciso anterior, se requiere de una mayor demanda de calor en el secador -- además de un incremento considerable en las dimensiones de los mismos.
- Al emplear gases de escape de la caldera para el secado, se disminuye la posibilidad de utilizarlos en precalentadores o economizadores.

Los cálculos obtenidos en este estudio dieron por resultado cifras de difícil aplicación en la construcción de -- los secadores. Esto se debe, como se dijo primero, a que no existen elementos técnicos confiables que nos pudieran llevar a una solución satisfactoria.

Por último, y dados los problemas actuales que enfrentan todos los países en torno a los hidrocarburos, en los últimos años se han venido realizando una serie de estudios -- encaminados a encontrar nuevas fuentes de energía que reemplacen a las actuales. Una de las alternativas que ofrece mayores beneficios por sus múltiples ventajas (energía gratuita, fuente inagotable, no contaminante) es la utilización de la -- energía solar, a pesar de que hasta ahora su uso no ha sido --

el adecuado por las dificultades que presentan su captación y almacenamiento.

Parte de nuestro estudio consistió en tratar de aprovechar este recurso como medio calefactor de aire para usarse en una casa solar cuyo fin primordial es disminuir la humedad del bagazo. Puede decirse que el sistema para elevar la temperatura del aire es factible pero se piensa que puede ser poco eficiente para la enorme cantidad de bagazo que se requiere quemar en un ingenio.

Queda pues, abierta la posibilidad para futuros estudios sobre el particular, esperando contar para entonces con nuevas experiencias, tecnologías y equipos, que permitan solucionar plenamente la problemática planteada en nuestro trabajo.