

UNITED NATIONS  
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA  
TECHNICAL ASSISTANCE ADMINISTRATION



LIMITADO  
ST/ECLA/CONF.3/L.5.3  
1 octubre 1954  
ESPAÑOL  
ORIGINAL: INGLÉS

INDUSTRY AND AGRICULTURE  
ORGANIZATION

JUNTA LATINOAMERICANA DE EXPERTOS  
EN LA INDUSTRIA DE PAPEL Y CELULOSA

Buenos Aires, Argentina  
18 octubre - 2 noviembre, 1954

AHORRO DEL BAGAZO PARA LA MANUFACTURA DEL PAPEL -  
CONSIDERACIONES TERMICAS

por

John Thompson Water Tube Boilers Ltd.,  
Cellulose Development Corporation Ltd.  
y diversos fabricantes de azúcar y de  
equipo azucarero (Inglaterra)

Tema V: ASPECTOS ECONOMICOS DE LA FABRICACION DE PAPEL Y CELULOSA  
A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

(Nota: Este documento no ha sido revisado por el autor, y está sujeto  
a modificaciones antes de su impresión definitiva)

1911  
C. A. ...  
...

...

...

...

...

...

AHORRO DE BAGAZO PARA LA FABRICACION DE PAPEL  
 CONSIDERACIONES TERMICAS

por Cellulose Development Corporation Ltd.,  
 John Thompson Water Tube Boilers Ltd. y  
 diversos fabricantes de azúcar y de  
 equipo azucarero (Inglaterra)

RESUMEN

Si se necesita utilizar el bagazo para otros fines que el de la combustión, una fábrica que emplea unos 600 Kgs. de vapor por tonelada de caña puede economizar este residuo en varias formas. En el cuadro siguiente se hace un resumen de las economías calculadas.

RESUMEN DE LAS ECONOMIAS ESTUDIADAS

	Economías en Kgs. de vapor por to nelada de caña	Bagazo economizado, como porcentaje del bagazo producido
Instalación de un calentador de aire o un economizador		10 - 15
Circulación de los condensados en los evaporadores (máximo)	10	1,5
Extracción de vapor de los evaporadores de efecto múltiple, para calentar el jugo (aproxima damente)	50	7,5
Reducción del agua de imbibición de 33 a 20 por ciento	32	5
Instalación de un termostato en el primer evaporador	40	6
		<u>30 - 35</u>

La mayoría de estas modificaciones pueden hacerse en forma simultánea pero en tal caso la economía total no sería exactamente igual a la suma de las economías obtenidas por separado con cada una de estas innovaciones. Las tres primeras corresponden a medidas ampliamente difundidas en la industria. En numerosos ingenios todavía no se han introducido la totalidad de estas /modificaciones y

modificaciones y otros no han adoptado ninguna de ellas.

Así como la reducción deliberada del agua de imbibición y la instalación de termocompresores son modificaciones a las que se recurre con menor frecuencia, existen otras medidas que pueden describirse como la aplicación más fiel del sentido común en materia científica: la eliminación de los escapes de vapor a la atmósfera, el aislamiento térmico, y el control estricto del agua de imbibición y de la humedad final del bagazo.

Además, en ciertas circunstancias especiales, pueden obtenerse mayores excedentes de bagazo mediante la producción directa de alcohol en gran escala así como cultivando caña con un alto contenido de fibra.

Resumiendo, puede decirse que las economías estudiadas representan un ahorro de un tercio o un cuarto del bagazo total.

Se podrían hacer mayores economías utilizando el vapor de escape de alta presión y evaporaciones a presión, así como aumentando el número de evaporadores.

Una vez agotados todos los medios para economizar el bagazo se puede recurrir al empleo de combustibles sucedáneos del mismo. Esta medida puede resultar muy económica y redundar en un mejor funcionamiento de la caldera que cuando se quema bagazo.

De todas las posibilidades que se han estudiado en este trabajo probablemente las más convenientes sean las que menos interfieren en las operaciones de la fábrica de azúcar. No cabe duda de que la termocompresión requiere cierto grado de control técnico que sólo la hace apta para los ingenios más modernos en tanto que la extracción escalonada de vapor de los evaporadores puede aplicarse en cualquier ingenio gracias a su sencillez.

El rendimiento de las calderas se puede mejorar fácilmente en casi todas las fábricas. Una mejora importante y fácil de realizar es la electrificación de todas las máquinas movidas a vapor que se descargan a la atmósfera y el aislamiento de las cañerías y de los estanques de condensados.

/INTRODUCCION

## INTRODUCCION

El bagazo se emplea desde hace algún tiempo para fabricar cartones de diversos tipos y papel de envolver corriente, pero la producción comercial de pasta blanqueada de bagazo para la fabricación de papel fino sólo se inició poco antes de la última guerra mundial. Los nuevos adelantos técnicos en la fabricación de celulosa de bagazo han permitido aumentar considerablemente la producción de papel y de cartón a base de este residuo y algunos ingenios de azúcar han añadido a sus actividades, por iniciativa propia, este provechoso renglón industrial.

Sin embargo, se oye decir frecuentemente que las necesidades de vapor de los ingenios dejan muy poco o ningún excedente de bagazo para la fabricación de papel y que podría resultarles antieconómico su reemplazo por otros combustibles.

Este trabajo tiene por objeto sugerir la manera de crear excedentes de bagazo en donde antes no existían o eran insignificantes, con el fin de aprovechar esta materia prima en la industria papelera sin necesidad de reemplazarla con otros combustibles. También se considera la sustitución total del bagazo.

Antes de hablar del ahorro del bagazo, debe determinarse la cantidad mínima anual de este residuo necesaria para que una fábrica de celulosa trabaje económicamente. Con este fin se supone una fábrica con una capacidad mínima diaria de 20 toneladas métricas de celulosa, aunque en ciertos casos se justifique económicamente una producción de sólo 15 toneladas de celulosa blanqueada. Dependiendo el tipo de papel o cartón que se quiera fabricar, esta producción puede representar de 60 a 95 por ciento de la materia prima fibrosa necesaria, ya que la celulosa de bagazo se mezcla con otras pastas.

La producción de celulosa se expresa generalmente en términos de toneladas de celulosa secada al aire (S.2.), equivalentes a un contenido de 90 por ciento de celulosa absolutamente seca, o secada al horno (S.h.) y 10 por ciento de agua. Las necesidades anuales de bagazo dependen del número de días trabajados al año y del rendimiento en celulosa de la materia prima preparada, correspondiente al procedimiento de fabricación empleado. Debe tenerse en cuenta que la médula o bagacillo puede extraerse previamente a la fabricación de celulosa (y usarse como combustible), en cantidades variables de 0 a 30 por ciento, según sea la clase de papel y cartón que se produzca.

/Para la

Para la preparación de semi-pasta hay que suponer seis días de trabajo por semana y 13,5 días por quincena; para la producción de celulosa blanqueada se requiere trabajo continuo porque es muy probable que la fábrica tenga que producir su propia soda cáustica y su propio cloro, en una planta electrolítica que funcione normalmente en jornadas continuas. En cada caso puede preverse una paralización de 14 días al año. (Véase el cuadro 1.)

Cuadro 1

CANTIDAD DE BAGAZO QUE SE NECESITA ANUALMENTE PARA PRODUCIR  
CELULOSA A RAZON DE 20 TONEIADAS (S.A.) POR CADA 24 HORAS

Tipo de celulosa	Rendimiento expresado como porcentaje de celulosa (S.A.) en relación al bagazo crudo (s.h.)	Toneladas de bagazo crudo (s.h.) por cada 24 horas	Días trabajados por año	Toneladas de bagazo por año Absolutamente seco (s.h.)	de 45% de humedad
Semi-pasta para la fabricación de papeles y cartones corrugados, etc.	65 aprox.	31	300	9.300	17.000
Semi-pasta para la fabricación de papel para envolver, sacos de papel, etc.	55 aprox.	36	300	10.800	20.000
Celulosa blanqueada para papeles finos (por ejemplo papel de imprenta y de escribir)	39 aprox.	52	340	17.000	32.000

El señor P. Honig, que en 1950 desempeñó el cargo de Presidente de la International Society of Sugar Cane Technologists (ISOCATE) declaró haber podido comprobar en la práctica que un ingenio de azúcar puede abastecer a sus plantas eléctrica y generadora de vapor empleando sólo 8 por ciento de fibra con relación a la caña.

/Se sobreentiende

Se sobrentiende que esta aseveración supone un alto grado de eficiencia y que aquella es una cifra ideal, como se verá más adelante. Sin embargo, como el contenido de fibra de la caña fluctúa entre 11 y 17 por ciento, el excedente teórico de bagazo de un ingenio puede variar entre 3 y 9 por ciento. Si se considera un término medio de 13 por ciento, se obtendrá un excedente de fibra de 5 por ciento con relación a la caña.

Aunque es obvio que la selección de caña con un contenido mayor de fibra creará mayores excedentes de bagazo sólo se podrá fomentar el crecimiento de caña con un contenido mayor de fibra en el caso de restringirse la producción de azúcar y ofrecerse precios atractivos por el bagazo.

En los casos en que la refinación del azúcar se hace en el mismo ingenio (azúcar blanca de plantación, como en el Brasil) el consumo normal de vapor aumenta en un 10 y posiblemente hasta en un 20 por ciento. Sólo unas cuantas refinerías de azúcar modernas disponen de excedentes de bagazo para fabricar celulosa.

Sin embargo, la mayor parte del azúcar se produce en crudo, exportándose a cualquier otra parte para su refinación. A continuación se recoge una estimación de las necesidades de vapor de los ingenios de azúcar cruda. (Véase cuadro 2).

Cuadro 2

## NECESIDADES DE VAPOR DE UNA FABRICA DE AZUCAR SIN REFINAR

		<u>Valor por tonelada de caña</u>
<u>Primer caso</u>	Carente de electricidad; con bombas de acción directa a vapor	600 - 700 Kgs.
<u>Segundo caso</u>	Moderna, con un turbogenerador que proporciona energía eléctrica para todas las máquinas pequeñas, especialmente para las bombas; control cuidadoso del empleo de vapor	500 - 600 Kgs.
<u>Tercer caso</u>	De efecto quintuple; extracción de vapor de los evaporadores, termocompresión o evaporación bajo presión, con vapor recalentado de alta presión	400 - 500 Kgs.
		<u>Generación de</u>

Generación de vapor con bagazo

El rendimiento normal del bagazo en términos de vapor -indudablemente no inferior al rendimiento medio- puede expresarse diciendo que una instalación pequeña del tipo de recalentamiento y que trabaja a baja presión, produce 2,6 Kgs. de vapor por Kg. de bagazo que contenga 45 por ciento de humedad y 55 por ciento de sólidos. Expresado en función de fibra seca, se podría decir que un Kg. de fibra produce aproximadamente 5 Kg. de vapor.

Como ya se ha indicado, el contenido de fibra de la caña varía, pero si se considera un contenido medio de 13 por ciento (130 Kg. por tonelada de caña) el vapor que genera todo el bagazo quemado es igual a 650 Kgs. (5 x 130) por tonelada de caña.

Si, como se sugirió antes, sólo se quemara el 8 por ciento, o un poco más del 60 por ciento del contenido total de fibra (13 por ciento) el total de vapor generado alcanzaría aproximadamente a 400 Kgs. por tonelada de caña. Es evidente, por lo tanto, que para hacer funcionar una fábrica de azúcar cruda quemando sólo el 8 por ciento del peso de la caña molida, el vapor debe emplearse en la forma más económica, lo que supone un control de primera clase y óptimas condiciones de funcionamiento. En esas condiciones ideales quedaría disponible un excedente de bagazo que alcanzaría casi al 40 por ciento.

En muchas instalaciones antiguas, debido al mal funcionamiento de las calderas y los hogares, la producción de vapor es sólo de 1,9 Kgs. por cada Kg. de bagazo con 45 por ciento de humedad, o sea de 3,65 Kgs. por Kg. de fibra seca. Esto equivale a una producción de vapor de 475 Kgs. por tonelada de caña, si se quema todo el bagazo, en tanto que el consumo de una fábrica de ese tipo (véase el cuadro 2) puede fluctuar entre 600 y 700 Kgs. de vapor por tonelada de caña. Para cubrir íntegramente sus necesidades de vapor, estas fábricas se ven en la necesidad de emplear combustibles suplementarios.

Por consiguiente, la situación relativa a los excedentes de bagazo varía de tal modo que, mientras en algunas fábricas el bagazo excede en un 40 por ciento a las necesidades de combustible, otras se ven obligadas a emplear combustibles suplementarios.

Las fábricas de azúcar sin refinar pueden abastecer suficientemente de bagazo a las fábricas de papel, lo que las favorece, porque los excedentes de este residuo significan una molestia, y deshacerse de ellos constituye un

/problema o



problema o un desembolso. (Como ejemplo se puede citar el ingenio azucarero asociado con la Compañía de Celulosa de Filipinas, que produce 15 toneladas diarias de papel fino.)

Muy a menudo, ingenios equilibrados térmicamente en su consumo y producción de bagazo aumentan su capacidad sin alterar su equipo de molienda. Esto puede originar un exceso de bagazo sin necesidad de introducir otras modificaciones.

El porcentaje de bagazo sobrante en un ingenio se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Excedente} = \frac{\text{Total bagazo producido} - \text{bagazo quemado}}{\text{Total bagazo producido}}$$

Las cantidades de caña que deben molerse anualmente para disponer de los excedentes de bagazo necesarios para la fabricación de papel (según el cuadro 1), pueden observarse a continuación. (Véase el cuadro 3.)

Cuadro 3

PESO MINIMO (APROXIMADO) DE LA CAÑA QUE ES NECESARIO MOLER ANUALMENTE PARA CREAR LOS EXCEDENTES DE BAGAZO NECESARIOS PARA LA FABRICACION DE PAPEL, POR EJEMPLO, PARA UNA FABRICA DE CELULOSA CON UNA PRODUCCION DIARIA DE 20 TONELADAS

(Contenido medio de fibra supuesto en la caña - 13 por ciento)

Variedad de celulosa	Excedente		
	10 por ciento	20 por ciento	30 por ciento
Para la fabricación de papeles y cartones corrugados, etc.	715.000	355.000	240.000
Para la fabricación de papel de envolver y sacos de papel	830.000	415.000	280.000
Para la fabricación de papeles finos	1.360.000	680.000	455.000

A pesar de estas cifras tan prometedoras, sucede con mucha frecuencia que el excedente de bagazo de un ingenio es muy pequeño o nulo, lo que no debe causar sorpresa si se considera que el excedente de bagazo inutilizado constituye un serio problema, como ya se ha mencionado antes. Por lo tanto, no existe normalmente un incentivo para considerar un alto grado de /eficiencia térmica

eficiencia térmica al diseñar una fábrica de azúcar, ya que el consumo de vapor es menor que la cantidad producida quemando bagazo; en general siempre se ha estimado lógico instalar calderas y generadores de vapor de tipo muy simple.

De lo que antecede se desprende que es muy fácil encontrar los medios para mejorar sustancialmente la eficiencia térmica con el propósito de destinar los excedentes de bagazo a la fabricación de celulosa.

Hay dos formas de abordar este problema:

- I. Con la economía de vapor y eliminación de las pérdidas en su empleo.
- II. Con el mejoramiento de la eficiencia en la generación de vapor.

A continuación se estudian estos dos puntos por separado.

## I

### COMO ECONOMIZAR VAPOR EN UN INGENIO DE AZUCAR

#### 1. Vapor para producir energía

En el cuadro 2 se ha visto que las necesidades totales de vapor de una fábrica de azúcar cruda experimentan marcadas variaciones, desde 700 Kgs. por tonelada de caña molida, en las instalaciones no electrificadas, hasta menos de 500 en fábricas modernas altamente integradas. Es natural que la cantidad de vapor que se emplea para generar energía varíe mucho según funcionen las fábricas con motor Corliss, turbina a vapor de acción directa o turbogeneradores. El resto de la maquinaria puede también funcionar ya sea con vapor o con electricidad.

Cualquiera que sea la combinación, se verá que los ingenios se diseñan en general de manera que siempre exista un margen - que puede ser considerable - entre el vapor que circula por las turbinas y motores a vapor y la cantidad total necesaria para calentamiento en la fabricación del azúcar. Es un hecho comunmente admitido que de todo el vapor que produce el ingenio, la cantidad máxima que circula por las unidades generadoras de energía corresponde sólo a las tres cuartas partes; el 25 por ciento restante proviene directamente de las calderas. De lo que antecede se desprende esta importante conclusión:

El rendimiento de las turbinas y motores a vapor es relativamente de poca importancia frente al aprovechamiento integral de su vapor de escape, en el calentamiento requerido por la fabricación de azúcar.

/No afecta

No afecta a la economía de vapor el bajo rendimiento de los motores pequeños y de las bombas duplex, sino la gran pérdida que representa el no aprovechar sus vapores de escape en el calentamiento así como las pérdidas que ocasiona la carencia de aislamiento de muchas tuberías de vapor. Como las pérdidas por estos conceptos pueden ser considerables constituiría un paso muy importante hacia la economía electrificar estas máquinas, ampliando la capacidad turbogeneradora existente y dotar de aislamiento térmico a las instalaciones en donde fuera necesario.

Del mismo modo, desde el punto de vista de la economía de vapor tampoco interesa la electrificación de los trapiches a menos que se aumente la presión de la caldera en tal forma que la temperatura del vapor de escape de la turbina sea aproximadamente de  $135^{\circ}\text{C}$  a  $140^{\circ}\text{C}$  ( $2 - 3\text{ Kg/cm.}^2$ ). Con el vapor a esta temperatura es posible la evaporación bajo presión de los jugos y el aprovechamiento - ya sea para precalentar los jugos o en los tachos al vacío - del calor latente del vapor proveniente del último evaporador, que sale, en estas condiciones, a  $105^{\circ}\text{C}$  y que antes se desperdiciaba debido a su baja temperatura ( $50^{\circ}\text{C}$  aproximadamente).

Sin embargo, como esto significaría una ampliación de la fábrica de azúcar, en los casos en que representa una economía considerable podría considerarse entre los proyectos nuevos. Por otra parte, no hay que olvidar que las temperaturas altas, durante cualquier período, perjudican al jugo de caña, objeción que no es valedera respecto al jugo de remolacha.

La inversión en los trapiches que funcionan eléctricamente es elevada y como las turbinas a vapor han dado buenos resultados, hay dudas sobre la conveniencia de seguir utilizando la electricidad en el futuro. Por otro lado, si se compara la turbina a vapor con el motor Corliss, la primera resulta no sólo de mayor rendimiento (trabaja a presiones de vapor recalentado más altas), sino que también requiere menos espacio, su mantenimiento probablemente es más económico y, sobre todo, proporciona vapor de escape libre de aceite que puede aprovecharse en los calentadores de jugo, evaporadores y tachos al vacío.

De lo que antecede se desprende que las economías más efectivas deben hacerse en el vapor que se emplea en el procedimiento mismo de fabricación, si se desea ahorrar bagazo.

2. Vapor empleado en el procedimiento mismo de fabricación

Las cantidades aproximadas de vapor que se necesitan, si se emplea para calentar, evaporar y cocer el jugo del vapor que proviene directamente de la cámara de vapor de baja presión pueden observarse a continuación. (Véase el cuadro 4.)

## Cuadro 4

## NECESIDADES DE VAPOR INDICADAS POR SECCIONES

	Kgs. de vapor por tonelada de caña
<u>Calentamiento del jugo:</u> 1.000 Kgs. de jugo que se calientan de 30° a 105° C; calor específico de 0,930 = 70.000 kilocalorías.	120
<u>Evaporación:</u> 1.000 Kgs. de jugo evaporados de 12 a 60 Brix = 800 Kgs. de agua evaporada; en un cuádruple efecto el vapor que se necesita es igual.	200
<u>Tachos al vacío:</u> 200 Kgs. de jarabe evaporado de 60 a 96 Brix x 1,5 incluyendo la dilución.	110
<u>Varios y tuberías:</u> Incluyendo las centrifugadoras, aproximadamente.	<u>100</u>
TOTAL:	<u>530</u>

Estas necesidades se pueden cubrir sólo en parte con el vapor de escape, por ejemplo, aproximadamente la mitad en el caso de los ingenios que no funcionan enteramente a vapor.

Como se ha señalado antes, la evaporación bajo presión, que permite conservar el vapor del último evaporador a una determinada presión y

/emplearlo así

emplearlo así en los tachos al vacío, o para calentar el jugo, podría significar una economía de 20 por ciento aproximadamente sobre la cantidad total de vapor. Sin embargo, debe advertirse que quizá este procedimiento no sea del todo satisfactorio en el caso de la caña de azúcar.

### Economías en la evaporación

Extracción de vapor de los evaporadores.- El vapor necesario para calentar por lo menos gran parte del jugo puede obtenerse extrayéndolo de entre los evaporadores que trabajan a presiones normales.

La disminución de la presión que se registra entre el primer evaporador y el último por varias razones se efectúa uniformemente. Esta disminución va desde 1,5 - 2,0 Kg/cm<sup>2</sup> (equivalente por lo menos a 112° C) en el primer evaporador, hasta 0,160 Kg/cm<sup>2</sup> (o sea 53° C) en el último.

Se ha podido comprobar que en estas condiciones la capacidad de evaporación de cada evaporador, por unidad de superficie de calefacción, es menor que la del anterior. Existe, entonces, la posibilidad de hacer que cada evaporador trabaje casi hasta alcanzar su capacidad máxima y si se reparte el vapor de manera que cada unidad reciba nada más lo que necesite, se puede extraer el excedente de vapor y utilizarlo para calentar el jugo. Por ejemplo, la cantidad que se extraiga del tercer evaporador ya habrá evaporado tres veces su propio peso en agua; la que se extraiga del segundo, dos veces, y así sucesivamente. Por desgracia, el vapor que en gran cantidad sale de la última unidad es, en general, tan fría, que no se puede aprovechar, a menos que el evaporador esté bajo presión.

Un ejemplo de la economía que representan estas extracciones de vapor se recoge en el cuadro 5.

/Cuadro 5

## Cuadro 5

## EXTRACCION DE VAPOR DE EVAPORADORES DE EFECTO MULTIPLE

	Kgs. de vapor suministrados por tonelada de caña	Kgs. de vapor generado en los evaporado <u>res</u> , por tone <u>l</u> ada de caña	Kgs. de vapor desprendido, extraído por tonelada de caña	Temperatura del vapor ex traído °C
Vapor de escape suminis trado al primer evapo rador a 1,5 - 2,0 Kg/cm	267			112
Primer evaporador		267	27	103
Segundo evaporador		220	49	93
Tercer evaporador		171	29	80
Cuarto evaporador		<u>142</u>	<u>0</u>	55
		800	125	

Para evaporar 800 Kgs. de agua en evaporadores de efecto cuádruple, sin extracción de vapor, se necesitan 200 Kgs. de vapor ( $800/4$ ), de manera que si se precisaran 125 Kgs. para calentar el jugo, las exigencias de vapor para estos dos fines serían de 325 Kgs. Si se consideran estas mismas condiciones, pero con extracción de vapor, el vapor necesario para calentar el jugo provendría de los evaporadores, cuyo consumo de vapor aumentaría, sin embargo, a 267 Kgs. por tonelada de caña. La economía máxima sería entonces de  $325 - 267 = 58$  Kgs. En relación con el consumo total de vapor en el calentamiento, esto representaría una economía de 11 por ciento ( $58/530$ ).

En este caso sería necesario calentar los jugos en una serie de intercambiadores de calor, utilizando el vapor de más baja presión para los jugos fríos.

Número de evaporadores.- Teóricamente, la cantidad de vapor consumido en el primer evaporador se obtiene dividiendo el vapor generado en los evaporadores por el número de éstos, operación que se aplica, en la práctica, con cierta precisión en el caso de los evaporadores de efecto triple o cuádruple, debido a que las pérdidas por irradiación, etc., se compensan en cierto modo por la autoevaporación del jugo que llega a cada evaporador con una temperatura mayor que la del vapor allí generado.

/Sin embargo,

Sin embargo, a medida que aumenta el número de evaporadores también crecen estas pérdidas rápidamente, de tal manera que en un evaporador de efecto quintuple, la pérdida total será por lo menos de

$$(5 \times L_1) + (4 \times L_2) + (3 \times L_3) + (2 \times L_4) + (1 \times L_5)$$

en donde  $L_1$  es la pérdida experimentada en el primer evaporador;  $L_2$  la pérdida en el segundo, y así sucesivamente. En la práctica esta pérdida resulta mayor aún.

Algunas cifras ilustrarán esas pérdidas en la evaporación. (Véase el cuadro 6.)

Cuadro 6

PERDIDAS DE EVAPORACION EXPRESADAS EN PORCENTAJE DEL VAPOR  
SUMINISTRADO AL PRIMER EVAPORADOR

	Con aislamiento parcial	Con aislamiento total
Doble efecto	0,46	0,26
Triple efecto	2,07	1,05
Cuádruple efecto	5,00	2,70

Con esta progresión se comprueba que mientras las pérdidas son razonables (5 por ciento aproximadamente) en los evaporadores de efecto cuádruple, los de efecto quintuple sólo sirven para los trapiches de una capacidad superior a 100 toneladas de caña por hora y los de séxtuple efecto son poco comunes y sólo se adaptan a las instalaciones de gran tamaño. Instalando un evaporador adicional en uno de triple efecto, se logra reducir a casi 200 Kgs. el vapor necesario en el primer evaporador, que es de 270 Kgs. por tonelada de caña, lo que en este caso representa una economía apreciable. (Debe señalarse que la instalación de un evaporador adicional no aumenta, por desgracia, la cantidad de agua que puede ser evaporada.)

Circulación de los condensados en los evaporadores. - La circulación de los condensados entre el primero y el último evaporador, efectuada de manera que al pasar de uno al otro de menor presión se evaporen rápidamente, puede redundar en una economía de 5,4 por ciento del vapor que se emplea para la  
/evaporación, o

evaporación, o aproximadamente, 10 Kgs. por tonelada de caña. Esta práctica está ampliamente difundida. Como con esto se pierde un poco de calor en el agua de alimentación de la caldera, puede recomendarse el empleo de un economizador.

El procedimiento más común consiste en hacer pasar los condensados del primer evaporador, puros y a una temperatura ligeramente inferior a la de temperatura de escape, directamente al depósito de condensador o al tanque alimentador de la caldera. De esta manera los condensados de todos los evaporadores, a partir del segundo, se evaporan rápidamente como ya se ha explicado con anterioridad. En este caso la economía es sólo de un 2 por ciento.

Termocompresores.- Se puede afirmar que, en principio, los termocompresores ofrecen un nuevo e interesante método para economizar vapor. El fundamento es semejante técnicamente al de una termobomba, pero en lugar de emplear una bomba mecánica (o turbocompresor) para convertir la presión baja y el vapor frío en elementos útiles, la compresión se efectúa mediante un inyector. Aunque de menor rendimiento, el procedimiento es más simple y económico que el turbocompresor.

En la práctica, uno o más inyectores extraen vapor del primer evaporador, lo comprimen y lo devuelven a la calandria del mismo, junto con el vapor de escape de los motores. Para esto se requiere vapor a alta presión. Utilizando un termocompresor se puede agregar gran parte del vapor a alta presión, que suele aumentar en forma inadecuada el vapor de escape y cuya presión se disminuye normalmente mediante una válvula reductora. De este modo se le aprovecha, lo que no sucede cuando se le disminuye su presión con la válvula de reducción.

Se ha comprobado que 1 Kg. de vapor directo, a una presión de 23 Kgs/cm<sup>2</sup>, que pasa por el inyector, extrae aproximadamente 2 Kgs. de vapor desprendido, con una presión absoluta de 1.033 Kgs/cm<sup>2</sup>, e inyecta a la calandria 3 Kgs. de vapor con una presión absoluta de 1.375 Kgs/cm<sup>2</sup>. Este uso reiterado del vapor desprendido no debe extremarse hasta el punto de desprestigiar por completo el vapor de escape existente.

El vapor que llega al primer evaporador es igual a  $q$  Kgs. de vapor directo de alta presión +  $q_1$  Kgs. de vapor de escape +  $\phi_q$  Kgs. de vapor /desprendido,



desprendido, comprimido y recirculante. (" $\phi$ " es el coeficiente de arrastre del inyector que, como ya se ha mencionado, es igual a  $\frac{1}{2}$ .) Esto evaporará  $q + q_1 + \phi_q$  Kgs. de agua en el primer evaporador, de la cual  $q + q_1$  pasará al segundo evaporador y  $\phi_q$  volverá a iniciar el ciclo. En el segundo, tercero, cuarto etc., evaporadores,  $q + q_1$  evaporará el mismo peso en agua en cada uno de ellos.

La evaporación total en un evaporador de cuádruple efecto, con un consumo de vapor de  $q + q_1$ , será entonces igual a

$$\text{Evaporación} = 4 (q + q_1) + \phi q$$

Para evaporar esta misma cantidad de agua en un evaporador de efecto cuádruple desprovisto de un termocompresor, el consumo de vapor será igual a la cuarta parte de la cantidad de agua evaporada, o sea,  $q + q_1 + (\phi \div 4)$ . En consecuencia, en comparación con lo que antecede, el termocompresor significa una economía de  $\phi q \div 4$  Kgs. de vapor.

Para comprobar cómo afecta el proceso señalado al consumo total de vapor, puede suponerse que los evaporadores consumen 200 Kgs. de vapor de baja presión por tonelada de caña, sin el termocompresor, y que este vapor está compuesto por 100 Kgs. de vapor de escape y 100 Kgs. de vapor directo con la presión reducida. Si se instala un termocompresor cuya fuerza motriz consume, por ejemplo, 80 Kgs. de vapor de alta presión, la economía será de  $\phi q \div 4 = (2 \times 80) \div 4 = 40$  Kgs. de vapor por tonelada de caña.

Las desventajas de este sistema son, que requiere un grado bastante alto de control técnico y que su rendimiento depende de la regularidad de la carga, lo que es imposible conseguir en los ingenios en los que varía constantemente la demanda de calor de la instalación de tachos al vacío. Es muy probable que estas sean las razones por las cuales este método no se ha desarrollado en gran escala hasta ahora.

Influencia del agua de imbibición.— Es evidente que reduciendo la cantidad de agua de imbibición con que se rocía la caña durante la molienda, se reducirá también el calor que se necesita para la evaporación. Sin embargo, como también se reduce la cantidad de azúcar extraída, será necesario tratar de establecer un equilibrio entre los valores relativos del bagazo que se economiza y del azúcar perdido.

Conviene señalar al respecto que el uso de una cantidad mayor de agua de imbibición no influye necesariamente sobre la humedad del bagazo; aunque

/en determinadas

en determinadas instalaciones el bagazo sale con 50 y aún 55 por ciento de humedad, en un ingenio que funcione correctamente esto no debe producirse y, como se demostrará más adelante, tal humedad influye perjudicialmente sobre el rendimiento del combustible.

El coeficiente de imbibición (designado por el signo convencional  $Z$ ) es la proporción en peso de agua agregada con respecto al contenido de fibra en la caña. Si se considera, por ejemplo, que  $Z$  es igual a 1,0 - 1,5 y 2,5, estos valores representarán 130, 200 y 330 Kgs. de agua, respectivamente, por tonelada de caña, siempre que se trate de caña con 13 por ciento de fibra.

Si se toma como base de comparación  $Z = 1,5$ , el agua por evaporar disminuye 70 Kgs. por cada tonelada de caña, cuando  $Z$  es 1,0, y aumenta 130 Kgs. cuando  $Z$  vale 2,5. Si en un evaporador de efecto cuadruple 1 Kg. de vapor evapora 4 Kgs. de agua, se necesitarán 17,5 Kgs. menos cuando  $Z$  es 1,0 que cuando vale 1,5. Si aumentara a 2,5, se requerirían aproximadamente 32 Kgs. más de vapor.

Sin embargo, el rendimiento en la extracción de azúcar se eleva en forma rápida para valores de  $Z$  comprendidos entre 0 y 2, y más lenta para valores mayores, por lo que si se supone que  $Z$  vale 1,0 - 1,5 y 2,5, se puede estimar que la extracción variará más o menos de 90,0 a 92,1 y a 93,7, respectivamente.

Es evidente que si  $Z > 1,5$  (más o menos 20 por ciento de agua en la caña), se deberá pensar seriamente en reducir el agua de imbibición, si se desea economizar bagazo, ya que el valor de éste para la fabricación de papel podría ser mayor que el del azúcar adicional que se obtendría agregándose más agua.

Al estudiar las economías que pueden hacerse en la sección evaporadores, no debe olvidarse que, en la práctica, la capacidad de evaporación en muchos ingenios tiende a retrasarse con respecto a los aumentos que se logran en el rendimiento de otras secciones. Este hecho tiende a obstaculizar la economía de vapor (y por lo tanto de bagazo) en este departamento.

#### Influencia de la producción de alcohol sobre el consumo de vapor en una fábrica de azúcar sin refinar

Los ingenios que producen alcohol con sus melazas finales necesitan mayor cantidad de vapor por tonelada de caña que los que no se dedican a esta industria. Si con una tonelada de caña se obtienen 40 Kgs. de melaza, que a su  
/vez producen

vez producen 12 litros de alcohol, el vapor necesario para la destilación será aproximadamente de 60 Kgs., o sea, 70 Kgs. adicionales por tonelada de caña.

En general, la producción de melazas excede las necesidades de la producción de alcohol en una zona determinada. Cuando se produce alcohol no sólo para aprovechar las melazas, sino en gran escala (como sucede en ciertos países productores de azúcar con el propósito de restringir las importaciones de gasolina), los jugos se envían directamente a fermentación sin mayor tratamiento que el de la clarificación en frío. En esta forma se pueden hacer economías apreciables, ya que se economiza el vapor de precalentamiento, evaporación y cocción del jugo que se envía a fermentar.

Mariller, en su Distillerie Agricole et Industrielle, señala que 100 Kgs. de azúcar invertida (glucosa) producen teóricamente 61 litros de alcohol, o sea, en la práctica, 57 Kgs.

Los jugos contienen principalmente sacarosa que produce, por cada 100 Kgs. 105 Kgs. de azúcar invertida. Si se necesitan 5 Kgs. de vapor por litro de alcohol, el consumo de vapor para la destilación será de:

$$5 \times 57 \times \frac{105}{100} = 300 \text{ Kgs. de vapor por cada 100 Kgs. de sacarosa}$$

Ya se ha demostrado que las necesidades de vapor para la producción de azúcar sin refinar son de 400 a 600, y aún más Kgs. por tonelada de caña; dado un rendimiento de la caña en azúcar de 12 por ciento, se necesitan entre 330 y 500 Kgs. de vapor por cada 100 Kgs. de sacarosa (azúcar).

Si se compara esta cifra con la anterior, es evidente que se puede lograr una economía importante de vapor (y por lo tanto de bagazo) produciendo alcohol en lugar de azúcar. El problema es demasiado complejo para analizarlo a fondo aquí, porque lo condicionan otros factores, como el efecto sobre la economía de vapor del funcionamiento de los evaporadores con una capacidad inferior a la normal, etc.

#### Aislamiento térmico

No es necesario destacar la importancia de un buen aislamiento, ya que si éste es deficiente se desperdicia gran parte del calor total. Esta observación se refiere, lógicamente, a todo el ingenio, incluyendo las tuberías de retorno de los condensados en las cuales un descenso de la temperatura de 6° C representa una pérdida de vapor de 1 por ciento. Es de gran utilidad,

gran utilidad, en estos casos, mantener una reserva de condensados calientes en un tanque aislado, para evitar el empleo de agua fría cuando se produce un aumento repentino de la demanda de vapor. En tales circunstancias se puede recurrir a los acumuladores de vapor así como a los hogares modernos del tipo de fogón que contienen reservas relativamente importantes de bagazo en su cámara de combustión.

## II

### OBTENCION DE UN MAYOR GRADO DE RENDIMIENTO EN LA GENERACION DE VAPOR

#### Empleo del bagazo como combustible

Aunque el contenido de humedad del bagazo experimenta fluctuaciones muy marcadas (se ha visto que puede bajar hasta 39 por ciento y elevarse hasta 55 por ciento), se puede considerar como muestra representativa de la composición del bagazo la siguiente:

	<u>Por ciento</u>		<u>Por ciento</u>
Componentes secos -	52	(Carbono	45
		(Hidrógeno	6
		(Oxígeno	46
		(Ceniza	3
Sustancias solubles - (Brix)	3	(sacarosa, glucosa, fructosa.	
Agua -	<u>45</u>		
	<u>100</u>		

El poder calorífico bruto de los componentes secos y de las sustancias solubles (por ejemplo, bagazo secado al horno) se considera, por lo general, equivalente a 4.600 Kcal/kg. aproximadamente. Con un contenido de 45 por ciento de humedad, el poder calorífico bruto desciende a 2.530 Kcal/kg. Si el contenido de humedad llegara a 55 por ciento, el poder calorífico bruto sería de 2.070 Kcal/kg.

El bajo rendimiento medio<sup>1/</sup> de las calderas que emplean bagazo como

1/ El rendimiento de las calderas se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Calor aprovechado en la generación de vapor por Kg. de bagazo}}{\text{Poder calorífico superior por Kg. de bagazo}}$$

No es aconsejable el empleo del poder calorífico inferior por las divergencias que pueden resultar en los valores debido a ligeras diferencias de interpretación de este poder en varios países. En los comentarios que siguen se hacen repetidas referencias al rendimiento bruto y al poder calorífico superior, pero se puede hacer una comparación similar de los rendimientos de las calderas basándose en el poder calorífico inferior. La divergencia entre ambos valores se acorta cuando el contenido de humedad se reduce.

combustible se explica por la gran cantidad de calor que es absorbido como calor latente al evaporarse la humedad del bagazo, así como la humedad proveniente del mismo proceso de combustión. La recuperación de este calor latente podría conseguirse enfriando de nuevo los productos de la combustión, a la temperatura original del bagazo, operación evidentemente imposible de realizar en cualquier tipo de hogar industrial. Por lo tanto, la única forma de reducir las pérdidas de calor que se experimentan "a través de la chimenea", por la causa ya anotada, sería disminuyendo el contenido de humedad del bagazo destinado a ser quemado como combustible.

La temperatura relativamente alta de los gases de combustión que salen por la chimenea va asociada al alto contenido de humedad del bagazo que se emplea como combustible. Por consiguiente, para lograr una mayor recuperación de calor en el proceso de combustión se debe absorber mayor cantidad de calor de los gases de combustión y reducir la temperatura del gas de escape. Estos dos aspectos del rendimiento de la caldera se estudian por separado.

Influencia de la humedad del bagazo sobre el rendimiento de la caldera.- La figura 1 ilustra acerca de la influencia que ejerce sobre el rendimiento de la caldera la reducción del contenido de humedad del bagazo que se emplea como combustible, ya sea en hogares de fogón o de parrilla escalonada, manteniendo constante la temperatura de los gases de salida. La distancia entre las curvas de rendimiento de estos dos tipos de horno se debe principalmente al mejor rendimiento de combustión del hogar de fogón combinado con la menor pérdida por combustible no quemado y un control más eficiente del aire, lo que permite obtener mayores proporciones de  $CO_2$ , y lograr, en consecuencia, menor pérdida de gas. La reducción del contenido de humedad del bagazo redonda en un aumento apreciable del rendimiento en ambas clases de hogares.

Si en vez de emplear bagazo húmedo como combustible se usa bagazo relativamente seco, se logra una economía apreciable en la producción de la misma cantidad de vapor. Esta aseveración se ilustra de la siguiente manera:

Suponiendo que en la práctica una fábrica de azúcar emplea como combustible bagazo con 45 por ciento de humedad en hogares de fogón, y que la temperatura de los gases de salida es de  $320^{\circ} C$ , el rendimiento será alrededor del 61,6 por ciento, y la cantidad de combustible quemado para generar el vapor necesario, de "X" toneladas por hora. Si por algún medio externo se logra

/reducir a

reducir a 12 por ciento el contenido de humedad del combustible, se obtendrá un rendimiento de 72,3 por ciento, en cuyo caso sólo se necesitarán 0,533X toneladas de bagazo con 12 por ciento de humedad, lo que equivale a 0,852X toneladas del bagazo original, con 45 por ciento de humedad. En otras palabras, la economía de bagazo en estado original es en este caso de 14,8 por ciento porcentaje que no varía haciendo la comparación sobre la base de bagazo seco o húmedo.

Es esencial determinar las economías de bagazo sobre la base de una producción de vapor dada y no por comparación directa de los aumentos de los rendimientos.

Se puede hacer una comparación semejante considerando los mismos grados de humedad y hogares de parrilla escalonada. En este caso los rendimientos son de 56 por ciento y 67,2 por ciento para los bagazos de 45 y 12 por ciento de humedad, respectivamente; la economía de bagazo resulta de 15,8 por ciento.

Influencia de la temperatura de los gases de combustión sobre el rendimiento de la caldera.— El fracaso en la consecución de economías apreciables de bagazo se debe, en general, a la falta de economizadores o precalentadores de aire en las calderas, y a la temperatura relativamente alta de los gases de combustión, que por lo común es cercana a los 320° C (temperatura base de la figura 1).

En la figura 2 se muestra la relación entre el rendimiento de la caldera y la temperatura final de los gases de combustión, cuando se quema bagazo con diferentes contenidos de humedad en una caldera típica provista de un horno de fogón; en este caso se han considerado las pérdidas de gas que se producen trabajando en condiciones normales, por ejemplo, con 45 por ciento de exceso de aire, o sea 14 por ciento de CO<sub>2</sub> en la cámara de combustión.

Suponiendo que una fábrica emplea como combustible bagazo con 45 por ciento de humedad y que la temperatura de los gases de combustión es de 320° C, el rendimiento - como ya se ha dejado establecido - será de 61,6 por ciento, la cantidad de bagazo que se necesitará quemar para generar el vapor necesario, de "X" toneladas. Si por cualquier medio externo se consigue reducir la temperatura de los gases de combustión a 205° C (que corresponde aproximadamente a la temperatura mínima aconsejable para los gases con dicha humedad), el rendimiento aumentará a 68 por ciento, en cuyo caso deberá quemarse 0,906X toneladas de bagazo para producir igual cantidad de vapor.

/La economía

La economía de bagazo es en tal caso de 9,4 por ciento.

Influencia que ejercen conjuntamente sobre el rendimiento de la caldera las reducciones en la humedad del bagazo y la temperatura de los gases de salida.-

Si se supone que la misma fábrica utiliza bagazo con 12 por ciento de humedad y que la temperatura final de los gases de salida es también de 320° C, el rendimiento de la caldera será de 72,3 por ciento y, de las 0,625X toneladas de bagazo con 12 por ciento de humedad disponibles, sólo será necesario quemar 0,533X toneladas para producir igual cantidad de vapor. Calculando que se aumenta la superficie recuperadora de calor para reducir la temperatura de los gases a 150° C (temperatura que, naturalmente, es satisfactoria para el menor porcentaje de humedad de los gases de salida), el rendimiento, en este caso, aumentará a 81,2 por ciento y la cantidad de bagazo con 12 por ciento de humedad necesaria será de 0,475X toneladas (.760X toneladas de bagazo con 45 por ciento de humedad) para producir la misma cantidad de vapor.

De este ejemplo específico se desprende que reduciendo conjuntamente la humedad del bagazo utilizado como combustible y la temperatura de los gases de combustión, se economiza un 24 por ciento del bagazo. A riesgo de incurrir en repeticiones, se vuelve a insistir que este exceso de bagazo se obtiene independientemente de la base de comparación escogida, es decir, bagazo seco, bagazo con 12 por ciento, 45 por ciento etc. de humedad.

Es evidente que si el porcentaje inicial de humedad del bagazo es superior al 45 por ciento señalado en el ejemplo, el porcentaje de bagazo economizado será más alto. Con las dos figuras se puede determinar de inmediato la economía que es posible hacer en cada caso en particular.

Por consiguiente, si la teoría se pudiera aplicar fielmente en la práctica, de lo que antecede se deduciría que es posible economizar cerca de la cuarta parte del bagazo empleado como combustible, para destinarlo a la fabricación de papel 1) mediante la instalación de un economizador además, o independientemente, de la de un precalentador de aire, y 2) desecando al aire el bagazo con 45 por ciento de humedad para reducirla a 12 por ciento aproximadamente, lo que se consigue enfardándolo y almacenándolo hacinado en parvas para que se seque en forma natural durante un período de varios meses.

Sin embargo, en la práctica se presentan ciertas consideraciones de importancia a las cuales se hace referencia más adelante.

/Economizadores y

Economizadores y precalentadores de aire.- Es posible reducir la temperatura de los gases de salida mediante un economizador o un precalentador de aire, o utilizando ambos a la vez, de acuerdo con la economía que se logre con estas dos secciones del equipo de recuperación de calor. Por ejemplo, si se considera el caso de los economizadores, para evitar que se genere vapor dentro de ellos es preferible asegurarse de que la temperatura de escape del economizador es inferior en unos 40° C a la temperatura de saturación del agua de la caldera. Como en general, en un ingenio la temperatura del agua de alimentación es de 90° C y puede ser mantenida fácilmente a 105° C (tanque a presión para retorno de los condensados), es más bien restringida la recuperación de calor que se logra con un economizador, instalación de baja presión por excelencia. Por consiguiente, es más ventajoso emplear los economizadores con calderas a presión alta o extra-alta.

Hay un límite hasta el cual es aconsejable precalentar el aire, de acuerdo con el tipo de hogar que se use. Hasta hace poco era de 200° C, aunque en los ingenios modernos se considera 250° C como una temperatura muy conveniente.

En consecuencia, en los ingenios de azúcar comunes equipados con calderas a baja presión, se recomienda el precalentamiento del aire como primera medida económica.

Para aprovechar al máximo todas las ventajas que ofrece el precalentamiento del aire, se debe trabajar con hogares del tipo de fogón ya que los ventiladores para tiro forzado que éstos necesitan se requieren también con los precalentadores. La combinación de ventiladores con los hogares de parrilla escalonada ofrece, a menudo, dificultades en el funcionamiento. El aire precalentado contribuye no sólo a secar el bagazo sino que mejora las condiciones generales de la combustión.

De este modo, aunque al trabajar con temperaturas más altas los costos de mantenimiento de los hogares son superiores, no debe despreciarse una economía de bagazo cercana al 10 por ciento, en cifras redondas, que puede obtener usando un calentador de aire conjuntamente con un hogar del tipo de fogón.

Cuando se trabaja con hogares de parrilla escalonada, la economía de bagazo puede llegar hasta un 15 por ciento incorporando un calentador de aire y transformando el hogar al tipo de fogón, innovación que puede hacerse

/en forma



en forma sencilla y económica.

El bagazo y otros combustibles

Es conveniente comparar el poder calorífico medio del bagazo con el de otros combustibles, teniendo presente los rendimientos medios que se obtienen de su combustión.

Cuadro 7

CREACION DE EXCEDENTES DE BAGAZO MEDIANTE EL EMPLEO DE OTROS COMBUSTIBLES

	Poder calorífico superior Kcal/kg. (PC)	Rendimiento normal aproximado de la caldera % (ϕ)	Aprovechamiento térmico del combustible Kcal/kg (PC x ϕ) 100
Carbones pobres (Bihar, India)	5.600	75	4.200
Carbones comunes	6.700	78	5.200
Petróleo	10.000	80	8.000
Bagazo húmedo (45 por ciento agua)	2.530	55 (parilla escalonada)	1.390
		60 (tipo fogón)	1.520
Bagazo secado al aire (12 por ciento agua)	4.050	80 (tipo fogón con calentador de aire y/o economizador)	3.240

Con las cifras de la última columna del cuadro 7 se puede calcular en forma aproximada el excedente de bagazo que es posible obtener mediante el empleo de otros combustibles. En la práctica se comprueba que la cantidad necesaria de combustibles sucedáneos del bagazo es menor que la indicada por el poder calorífico y el rendimiento de la caldera. La razón está en que la mayoría de los otros combustibles son más fáciles de usar que el bagazo. Por ejemplo, en el caso del petróleo, es relativamente sencillo determinar la cantidad de /combustible que

combustible que se necesita para cubrir una cierta demanda de vapor y como esta última puede estar sujeta a fluctuaciones imprevistas, el control estricto de este combustible facilita su ahorro. Sin embargo, es interesante señalar que en los ingenios modernos que emplean bagazo como combustible y que funcionan con hornos tipo Thompson-Eisner, de alimentación automática, y con reguladores automáticos de la presión de las calderas, es posible regular la cantidad de bagazo quemado, de acuerdo con las necesidades de vapor.

Del cuadro 7 se deduce que una tonelada de petróleo quemado con 80 por ciento de rendimiento reemplaza a 5,7 toneladas de bagazo (8.000/1.390), con 45 por ciento de humedad, quemado con 55 por ciento de rendimiento. Debe tenerse en cuenta, además, la mayor facilidad de manejo del petróleo.

Si se supone que una tonelada de petróleo vale 25 dólares y que 5,7 toneladas de bagazo con 45 por ciento de humedad equivalen a 3,14 toneladas de fibra secada al horno, el costo del excedente que se obtiene por este reemplazo es de 8 dólares por tonelada de fibra secada al horno (25/3,14). A esto hay que agregar el costo de enfardaje, emparvado y remoción de las parvas, que permiten que el bagazo se seque al aire hasta quedar con 12 por ciento de humedad, aproximadamente. Para los efectos del cálculo, este costo puede estimarse, como término medio, en 6 dólares por tonelada de fibra secada al horno,<sup>1/</sup> cifra que agregada al valor anterior, da un costo total de 14 dólares por tonelada de fibra secada al horno, valor total que tienen que pagar las fábricas de papel por el bagazo para que los ingenios de azúcar no pierdan dinero con la sustitución.

Según el cuadro 7, si se quema bagazo secado al aire en un hogar tipo fogón, 2,47 toneladas secadas al aire (8.000/3.240), o 2,17 toneladas de fibra secada al horno, rendirán igual que una tonelada de petróleo quemado con 80 por ciento de rendimiento. En comparación con el aprovechamiento térmico del bagazo húmedo con 55 por ciento de rendimiento quemado en una parrilla escalonada, la economía de fibra secada al horno llega a 0,97 toneladas (3,14 - 2,17), o sea, aproximadamente 31 por ciento.

---

<sup>1/</sup> Esta es una cifra intermedia entre 4,55 dólares por tonelada de fibra secada al horno, que es el costo en Filipinas y su equivalente en Louisiana, Estados Unidos, de 7,15 dólares por tonelada métrica. Esta última cifra fué calculada por Prof. Keller. (Véase Paper Trade Journal, 2.5.1952.)

Si se considera de nuevo un costo de enfiardaje, emparvado, etc., de 6 dólares por tonelada de bagazo secado al aire, el costo de 2,17 toneladas de bagazo secadas al horno que se entregan al ingenio en forma de bagazo secado al aire para que lo quemé en sus hornos, es de 13 dólares - o más bien de 14 - si se incluye el costo de apertura de los fardos al alimentar el hogar. El rendimiento de esta cantidad de bagazo es igual al de una tonelada de petróleo cuyo valor es de 25 dólares, pero mientras que la sustitución directa del bagazo por petróleo crea un excedente de 3,14 toneladas secadas al horno, como ya se ha mencionado, quemando bagazo secado al aire se obtiene sólo un excedente de 0,97 toneladas de bagazo seco. Por consiguiente, el costo de obtención de una tonelada de bagazo secado al horno, quemando en su reemplazo bagazo enfiardado secado al aire, es de 14,5 dólares por tonelada ( $14/0,97$ ) en comparación con 8 dólares que es lo que resulta cuando se hace la sustitución por petróleo. Agregando, como se ha hecho anteriormente, los 6 dólares por tonelada, por concepto de enfiardaje, el costo total del bagazo enfiardado que debe cubrir la fábrica de papel es de 20,5 dólares por tonelada secada al horno, o sea, superior en un 50 por ciento al del bagazo enfiardado que se obtiene haciendo directamente la sustitución por petróleo.

Si se compara el fácil manejo del petróleo con la inmensa tarea que representa enfiardar tres veces más bagazo que el destinado a la fabricación de papel, es evidente que el empleo del bagazo enfiardado seco como combustible, - aunque interesante en principio debido a su mayor rendimiento - no puede considerarse práctico.

Por consiguiente, de lo que antecede se deduce que para alcanzar el máximo de rendimiento (y poder así economizar bagazo) es necesario que el ingenio de azúcar entregue el bagazo lo más seco posible y, además, que se instale un hogar moderno tipo de fogón con un precalentador de aire sustituido o completado por un economizador. 1/

---

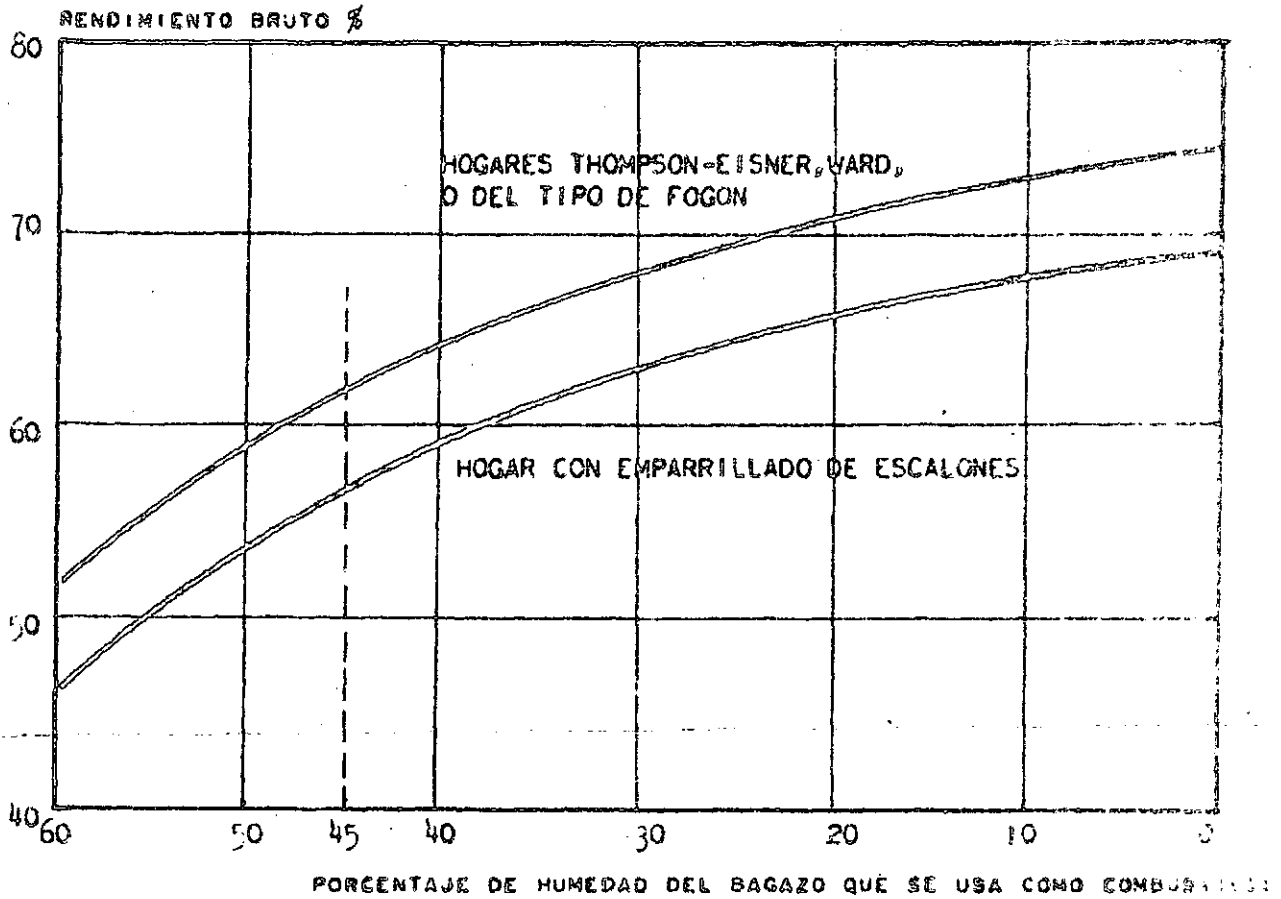
1/ Apenas existe diferencia en el costo de instalación de un hogar Thompson-Eisner del tipo de fogón (Thompson-Eisner hearth-type grate) y el de parrilla escalonada. El segundo es un poco más caro si está equipado con tiro forzado. El costo de la transformación es igual al de la instalación de una parrilla escalonada adicional. Si se dispone de ventiladores para tiro forzado, y si la parte delantera de la caldera tiene la forma apropiada, el costo total no será muy superior al de una reparación general con renovación del enladrillado. Las transformaciones realizadas en numerosos ingenios de la Guayana Británica, por ejemplo, han permitido casi duplicar la capacidad de evaporación de las calderas.

El empleo de combustibles sucedáneos del bagazo en los ingenios también puede estar relacionado con el abastecimiento de combustible para generar vapor y energía en las fábricas de celulosa proyectadas. En general, las fábricas de celulosa se construyen cerca de la fuente de suministro de bagazo, por lo cual todo lo concerniente a la disponibilidad de combustibles sucedáneos del bagazo por parte de los ingenios de azúcar cambia de modalidad.

Debe señalarse que el valor del bagazo como materia prima para el fabricante de papel puede resultar mayor que los otros combustibles que haya que entregar en su reemplazo, aspecto éste que merece ser analizado cuidadosamente al estudiarse las posibilidades de instalación de una fábrica de papel y celulosa a base de esa materia prima.

GRAFICO 1

CURVAS DE RENDIMIENTO DE LAS CALDERAS SUPONIENDO QUE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE ES DE 320°C



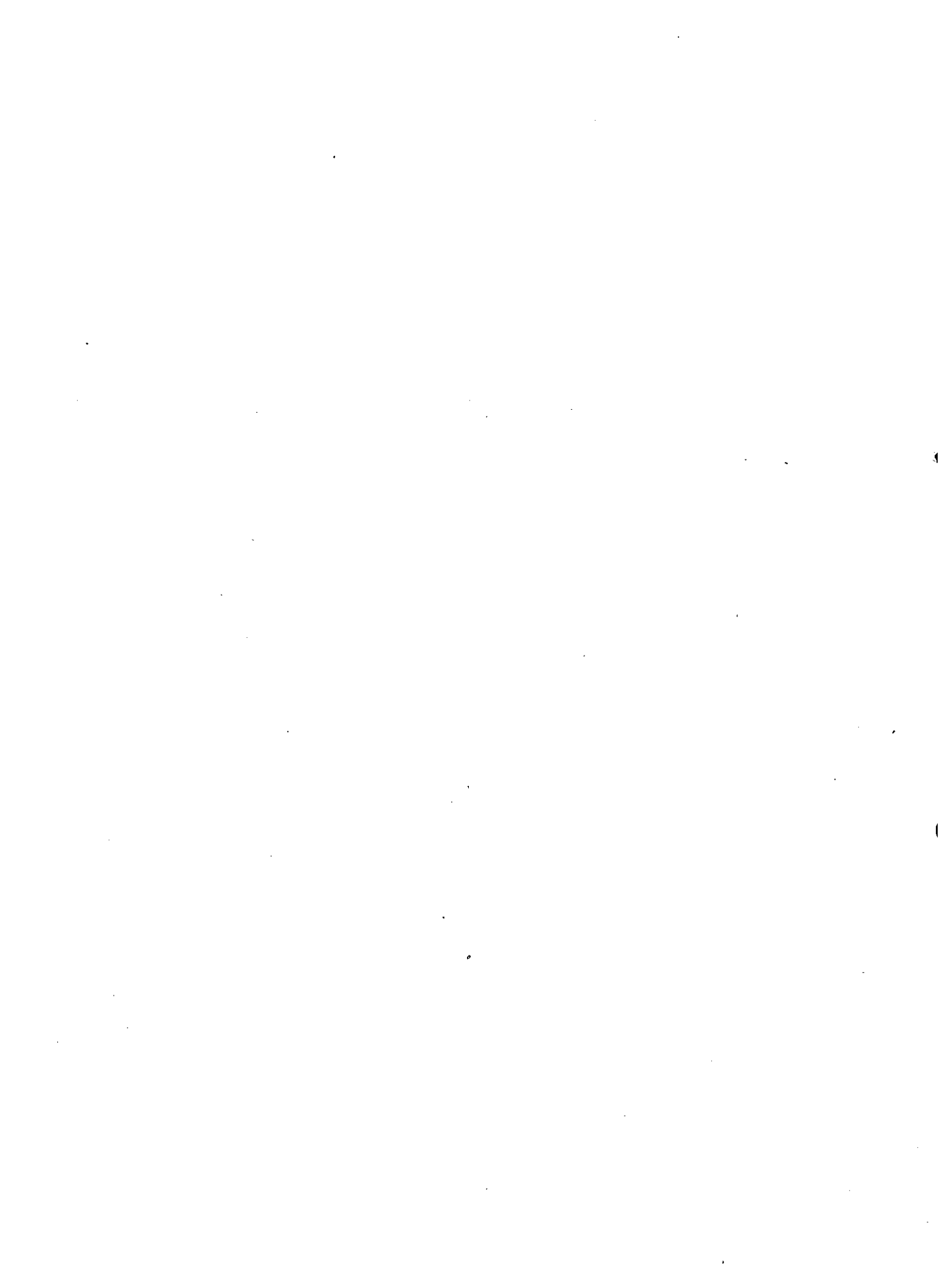


GRAFICO 2

TEMPERATURA FINAL DE LOS GASES DE ESCAPE EN °C

