
BOLETIN ENERGETICO



Organización Latinoamericana
de Energía

OCTUBRE/DICIEMBRE/1980

USO RACIONAL DE LA ENERGIA UN ENFOQUE DE INTERES PARA
AMERICA LATINA **olade** MANERA DE IMPLEMENTAR UN PROGRAMA
DE CONSERVACION DE ENERGIA **olade** AHORRO DE ENERGIA ELEC-
TRICA EN LA INDUSTRIA **olade** LA POTENCIALIDAD DE LA CAÑA DE
AZUCAR COMO RECURSO ENERGETICO RENOVABLE

LA POTENCIALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR COMO RECURSO ENERGETICO RENOVABLE

Ing. Paulino López Guzmán, Sub-Director, Div. de Ingeniería,
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar,
Ministerio del Azúcar.

Ing. Carlos de Armas Casanova, J' Dpto. de Ingeniería de Proceso,
Div. de Ingeniería, Instituto Cubano
de Investigaciones, de los Derivados de la Caña de
Azúcar, Ministerio del Azúcar.

SUMARIO

Entre las biomásas agrícolas que se estudian actualmente con fines energéticos, la caña de azúcar, ha sido objeto de especial interés, dada su capacidad de captar y almacenar la energía solar. Sus rendimientos agrícolas llegan alcanzar niveles de 90 tm/ha-a de materia seca, superando ampliamente a otras biomásas como son el maíz y especies forestales.

La energía que se requiere para la producción de la caña, depende: de la técnica de siembra y cultivo, nivel de mecanización, regadío, fertilización, que se adopte así como las distancias y medios de transportación que se utilice para ser entregada a los límites de la fábrica, todos los cuales varían en cada país. En el sistema que se adoptó en este estudio el consumo de energía fósil es equivalente a 8 kg/tm de caña completa que comparado con la energía que entrega como biomasa, resulta que se obtiene 11 veces la energía consumida, otros autores reportan de 10-15; otros cultivos como el maíz alcanza niveles de 8,9 y algunas especies forestales optimizadas en su rendimiento se estiman en 3,9.

La energía que contiene la caña de azúcar se encuentra distribuída entre los azúcares totales y la fibra. La utilización de esta biomasa con fines energético, es posible mediante la producción de energía eléctrica marginal en la producción de azúcar, siendo posible lograr producciones de 72 kw-h/tm de caña molible, además del aprovechamiento con fines energéticos de la paja y el cogollo que representa un 25% de la caña completa y que actualmente se utiliza como abono orgánico del terreno. Otra alternativa muy popular en los últimos tiempos es la producción de alcohol a partir de la caña. Tradicionalmente se ha producido a partir de las mieles con consumos de energía equivalente en petróleo a 0.5 tm/tm de alcohol y la produc-

ción de azúcar y miel como productos alimenticios a partir de la caña de azúcar, es posible alcanzar niveles de 138 kw-h/tm de caña como energía marginal y 59 kg. de alcohol/tm de caña, esta alternativa por supuesto compite con las producciones de azúcar y miel, para la alimentación humana y animal.

Se resalta la importancia de la paja y el cogollo el cual referido a la producción azucarera de la América Latina, de ser aprovechado como combustible pueden equivaler a un suministro de 8 millones de tm de petróleo anuales.

La caña de azúcar además es fuente de materia prima para una industria de derivados: papel, tableros de bagazo, furfural, alimento animal, etc. Abarcando también así la otra faceta de la crisis energética: el suministro de materia prima para la industria petroquímica. Mucho de esos productos sustituyen producciones derivadas del petróleo, contribuyendo así, a la solución de este problema.

La potencialidad energética de la caña de azúcar se evidencia en las posibilidades que tiene para autoabastecerse energéticamente en modelos de producción de azúcar y derivados de los sub-productos. En el trabajo se expone un modelo de desarrollo industrial que evidencia esa característica y pone de manifiesto las posibilidades de esta biomasa de servir de base a un desarrollo industrial relativamente al margen de la crisis energética.

LA POTENCIALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR COMO RECURSO ENERGETICO RENOVABLE

LA CAÑA DE AZÚCAR COMO CAPTOR Y ALMACEN DE LA ENERGIA SOLAR

La energía solar es la mayor reserva energética

con que cuenta el hombre, sin embargo su carácter difuso, discontinuidad con el día y la noche y variabilidad en dependencia de las condiciones climáticas, son factores que han limitado hasta el día de hoy su aprovechamiento. La energía solar que se recibe sobre la superficie de un país tropical se estima (1) en 5 kwh/m² día; como disponer de ésta es el objeto de las investigaciones que se realizan actualmente en el marco de la crisis energética.

Una de las vías que se estudia, es la producción de biomasa con fines combustibles. Ya en la antigüedad, los bosques fueron el recurso energético fundamental con que contó la humanidad, hasta ser desplazado por el carbón. Por medio de la fotosíntesis las plantas fijan el carbón presente en la atmósfera produciéndose materia orgánica.

Entre las biomásas agrícolas, disponibles actual-

mente, la caña ocupa un destacado lugar. Su capacidad de fotosíntesis, hace de ella, una de las plantas de mayor rendimiento agrícola.

El rendimiento de materia seca por ha-año de la caña de azúcar, oscila desde 27 hasta 90 tm, en dependencia del regadío, fertilización, métodos de siembra, cultivo, etc. Esos rendimientos son los alcanzados hasta hoy, con el objetivo de obtener el máximo posible de azúcar por ha-año. Sin embargo las posibilidades energéticas de la caña, adicionará en un futuro a ese objetivo el incremento del contenido de fibra: las variedades comerciales de caña actuales alcanzan (2) niveles de 18% de fibra en caña molible en algunos países; en Cuba el promedio es de 14%.

Los volúmenes de materia seca reflejado en la tabla 1, significan cantidades importantes de energía.

TABLA 1

MATERIA SECA PRODUCIDA POR
DIFERENTES BIOMASAS

BIOMASA		MATERIA SECA TM/HA/AÑO	LUGAR
— CAÑA DE AZUCAR (alto rendimiento) 103 TM/Ha).	CAÑA COMPLETA (tallo, hoja, cogollo)	38	Cuba, Austria, Área del Caribe, Otros
Rendimiento (90 TM/ha-a	(tallo, hoja, cogollo)	27	Cuba (promedio)
— CAÑA DE AZUCAR (según se cultiva en Hawaii)	CAÑA COMPLETA	90	Hawaii
— MAIZ (una cosecha al año)	PLANTA COMPLETA (incluyendo mazorca y granos)	9.5	Granja típica de Minnesota
— TRIGO	PLANTA COMPLETA (incluyendo la espiga)	5.5	Media para el Reino Unido
— ARROZ	PLANTA COMPLETA	9.5	Filipinas (Nueva Tecnología)
— REMOLACHA AZUCARERA	PLANTA COMPLETA	16	Holanda (alto rendimiento)
— PASTOS TROPICALES	PANGOLA	15	Buena atención
	HIERBA ELEFANTE	25	Buena atención

ESQUEMA DE EVAPORACION QUINTUPLE EFECTO CON EXTRACCIONES PARA TACHOS Y CALENTADORES

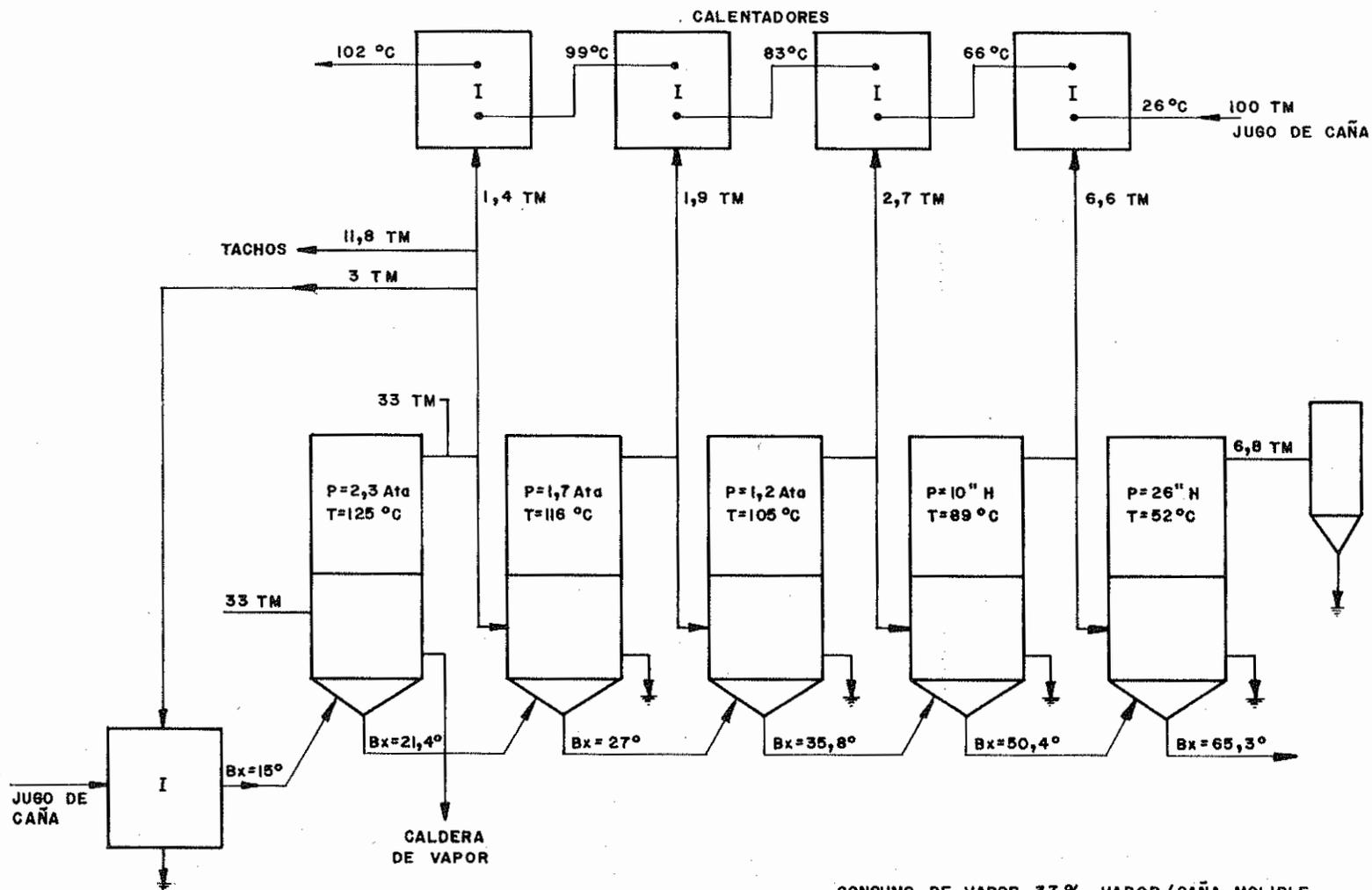


FIG. 3

CONSUMO DE VAPOR 37% VAPOR/CAÑA MOLIBLE
 CONSUMO ENERGIA TOTAL EN FABRICA 260 kcal/kg CANA MOLIBLE

Si utilizamos la caña totalmente como combustible, la energía que brindaría sería del orden de 4000 kcal/kg de materia seca; de acuerdo a los máximos rendimientos agrícolas se dispondría hasta de 360 mil kcal al año, por cada hectárea que se dedicase a este cultivo, lo cual equivaldría a una producción de 36 kg de petróleo al año por hectárea que se obtendría en forma renovable.

Resulta interesante comparar estas cifras con las del eucalipto saligna propuesto frecuentemente a los países en desarrollo para solucionar el suministro de combustible doméstico (carbón de madera) a las familias más pobres. Esta planta logra alcanzar en condiciones óptimas un crecimiento de 30m³/ha-año, con un ciclo de rotación de 7 años lo que representa una disponibilidad de 12 tm de materia seca/ha-año.

El pino llega a alcanzar hasta 15 m³ha-año y algunos autores (3) reportan que es posible mediante fertilización, mejorando las especies y métodos silviculturales intensivos, lograr producción de biomasa de 10-20 tm/ha-año de materia seca.

La caña de azúcar brinda hasta 7 veces más energía que esas plantas. Es de resaltar que en el mundo según estadísticas de la FAO (4) en el año 75 se consumieron como combustibles 68 millones de m³ de leña y carbón vegetal que en su mayor parte proceden de especies de árboles con crecimientos bastante inferiores a los del eucaliptus.

La energía contenida en la caña de azúcar está distribuída de acuerdo a su composición vegetativa en: Raíces, tallo y hojas.

La parte de la planta, que se encuentra sobre la tierra, consiste: en la caña molible, el cogollo y las hojas; la parte que se encuentra bajo tierra las constituyen las raíces.

En algunos países la cosecha se realiza de forma que se recoge como caña molible: el cogollo, el tallo y los tocones; las hojas se incineran cuando se quema el campo de caña antes de la cosecha. Sin embargo, en la mayoría, tanto los tocones como la mayor parte de las hojas y el cogollo se quedan en el área cultivada después de la cosecha.

La composición vegetativa de la caña, varía de conformidad con la edad, fertilización, variedad, etc.

En la Fig. 1 se reduce el resultado de los experimentos realizados por Kokus (5), en que se muestra la variación de la composición vegetativa con la edad de la planta. Van Dillewijn (5) reporta la composición vegetativa de una variedad de caña cultivada en Hawaii a la edad de 12 meses, (Fig 2). Es de resaltar que el 90% de la materia seca que contiene la caña es fibra y de acuerdo a la tecnología de cosecha más difundida aproximadamente un 50% se queda en el campo como residuo, que sirve fundamentalmente de abono orgánico al terreno, lo cual expresado en términos de energía, significan pérdidas hasta de 180 mil kcal/ha-a.

BALANCE DE ENERGIA DE LA PRODUCCION DE CAÑA DE AZUCAR

En la actualidad el 95% de la energía que se consume mundialmente procede de combustible no renovables y de éste aproximadamente un 47% es petróleo. Es tan grande la dependencia que la civilización actual, tiene del petróleo que podemos decir que en la situación actual no se puede pensar en desarrollo sin tener en cuenta los consumos de energía que demanda y en particular de este combustible.

Por esas razones, cuando se analiza la contribución de una alternativa a la solución del problema energético, es obligado conocer el balance entre el consumo de energía fósil y la producción de energía, de la solución que se propone visto como un sistema integral.

En el caso de la caña de azúcar como una fuente de energía renovable en su producción no sólo interviene la energía solar sino la energía fósil que se consume para su siembra, cultivo, cosecha y transportación hasta su entrega al consumidor.

Siembra y Cultivo

El ciclo de desarrollo de la caña varía desde 10 meses en Louisiana hasta 18 ó 20 meses en países como Cuba, Mauricio, Hawaii para la planta nueva y de 10 meses para la soca.

Debido a esas características del proceso vegetativo de la caña, se practican diferentes sistemas de reposición de cepas y cultivo de la caña que se diferen-

cian por el número de cortes que recibe la planta y el silo de rotación.

Para nuestros estimados nos basaremos en una rotación con ciclos de 7 y con 5 cortes, con un rendimiento de biomasa de 100 tm/ha-a.

Una parte de la caña, que se produce actualmente en el mundo, se lleva a efecto con operaciones manuales, utilizando equipos de tracción animal, lo cual significa un consumo mínimo de combustibles. Sin embargo hoy en día se practica una alta mecanización en esas operaciones y en el futuro no hay duda que será impuesta a toda la producción de caña. Por esas razones nos referimos en nuestro estimado a operaciones agrícolas mecanizadas en su mayor parte.

Para el consumo energético de las operaciones en la siembra y el cultivo de la caña, nos basaremos en los reportados en el trabajo "Sugerencias sobre el Fomento y Cultivo de Plantaciones de Caña de Azúcar en Suelos de Secano" presentado en el 1.º Forum Azucarero Nacional de Cuba, celebrado en 1965.

SIEMBRA DE UNA HECTAREA DE CAÑA DE FRIO	
Cantidad de Semilla = 3.4 tm	
Clase de Suelo: Arcilla	
Operaciones	Consumo (Diesel) gls.
Preparación de la Tierra	32
Siembra y Resiembra	1
Cultivos	35
Desyerbes	<u>1</u>
Total:	69

CULTIVO DE UNA HECTAREA DE RETOÑOS CON PLATA	
Labores Mecanizados a surcos alternos	
Clase de Suelo: Arcilla	
Operaciones	Consumo (Diesel) gls.
Desyerbes	1
Cultivo	10
Resiembra (5% del Area)	<u>1</u>
Total:	12

Regadío

La producción de caña, está en relación directa con la cantidad de agua que reciben los campos. Estudios realizados indican (2) que requieren 500 kg de agua para producir 1 kg de azúcar y esta agua debe ser suministrada por la lluvia o por el riego. Para la riego se utilizan diferentes métodos: inundación de surcos, infiltración y aspersión. En nuestros cálculos nos basaremos en el sistema por aspersión que es el de mayor consumo de energía. Se asume un volumen de agua de 48 pulgs. para un rendimiento agrícola de 100 tm/ha-a de caña completa (tallo, hoja y cogollo) (6).

Capacidad de la Bomba	720 GPM
Carga Total	12 M
Potencia	10 Kw

	Norma de Riego	Consumo Energía
Planta Nueva:	460 m ³ /ha	40 Kw-hr/ha
Soca:	550 m ³ /ha	47 Kw-hr/ha

Expresando la energía eléctrica consumida en términos de aceite combustible requerido para su producción en termoeléctrica (0.28 KG/Kw-h) el consumo de energía fósil es:

Planta Nueva:	12 kg/ha
Soca:	14 kg/ha

Fertilizantes

Los fertilizantes, son un factor indispensable para obtener buenas producciones de caña. Los fertilizantes que se utilizan son simples y complejos; en su producción tanto como materia prima, como fuerte energética se consume combustibles fósiles. En nuestro estimado nos referimos a un fertilizante complejo con una fórmula de 14% de Nitrógeno, 6% de Fósforo y 18% de Potasio.

	Consumos TM/TM de Fertilizante
Materia Prima	0.2
Combustible	0.33
Total:	0.53

La cantidad de fertilizante que se añade a la caña varía de acuerdo al tipo de suelo, variedad de la caña y fórmulas del fertilizante, en nuestro caso nos basaremos para la planta nueva 600 kg/ha y para la soca 520 kg/ha. Según esa dosificación el consumo de aceite combustible es: para la planta nueva 318 kg/ha y la soca 276 kg/ha.

Cosecha y Transportación

La cosecha de la caña de azúcar, en muchos países se realiza manualmente, a pesar de contarse con cosechadoras que cortan, limpian y colocan la caña en el equipo de transportación realizándose esta operación totalmente mecanizada. Por supuesto a costa del consumo mayor de energía. Para nuestro estimado nos basamos en el consumo de combustible (Diesel) de la cosechadora cubana KTP-2, cortando caña con un rendimiento agrícola de 66 a 90 tm/ha-año de caña molible. El consumo de combustible de este equipo es de 0,68 kg/tm de caña completa (tallo, hojas, cogollo).

Para la transportación, asumiremos un recorrido de 25 kms como promedio con cargas y 25 kms sin carga, en equipos auto-motor de 6 tm de capacidad de caña molible cuando transportan caña completa la capacidad de carga disminuye en un 45%.

El consumo de combustible de estos equipos es de 11 kms/gal (Diesel). Para un recorrido total de 50 kms con una carga de 3.3 tm de caña completa, el consumo unitario será de 5 kg/tm de caña completa.

Consumo Total de Energía Fósil

Para el estimado del consumo total de energía, nos basaremos en un sistema de producción de caña con un ciclo de rotación de siete años y cinco cortes, con una producción de 100 tm/ha-año de caña completa. En este sistema de acuerdo al proceso vegetativo de la caña, todos los años se corta una parte de la caña disponible compuesta por caña que se quedó sin cortar el año anterior y por retoño producto de la caña que se cortó y se sembró en ese año, otra parte de la caña se deja sin cortar. De esta forma se cortan cada año caña con diferentes edades, obteniéndose según la

variedad y los demás factores rendimientos promedios que en nuestro caso hemos asumido 100 tm/ha-año.

SISTEMA DE ROTACION CICLO DE 7 AÑOS CON 5 CORTES (7)

Superficie de Caña	ha.	Prod. de Caña/año	TM
Total Disponible			
Total Disponible	1000		
Se corta/año	714		71400
Retoño	428		39578
Quedada	286		31822
Se deja sin cortar/año	286		
Se repone/año	133		
Consumo de Combustible (Diesel)		Combustible kg	
a) Operaciones Agrícolas			
Siembra	2.2 kg/ha	133 ha. =	293 kg.
Cultivo	0.39 kg/ha	428 ha. =	165 kg.
b) Regadío			
Planta Nueva	12 kg/ha	133 ha. =	1596 kg.
Retoño	14 kg/ha	428 ha. =	5992 kg.
c) Fertilizantes			
Planta Nueva	318 kg/ha	133 ha. =	42294 kg.
Retoño	276 kg/ha	428 ha. =	118128 kg.
d) Cosecha	0.7 kg/tm	71400 tm	49980 kg.
e) Transportación	5 kg/tm	71400 tm	357000 kg.
		Total:	575345 kg.

De acuerdo este sistema, el consumo de aceite combustible de producción de caña de azúcar, asciende a 8 kg/tm de caña completa (tallos, hojas, cogollo).

Balance de Energía del Sistema

La energía que está contenida en la caña se estima en base a la materia seca con un calor de combustión como promedio de 4000 kcal/kg de caña.

De acuerdo al sistema de producción agrícola explicando en párrafos anteriores, el volumen de caña que se dispondrá sería de 71,400 tm, lo cual significa 71,4.10⁶ mcal y la energía consumida es de 6,09.10⁶ mcal. Esto significa que la caña de azúcar ofrece una cantidad de biomasa que expresada como energía, es

11 veces la energía fósil que consume en su producción. Este índice es bastante variable dada la heterogeneidad de las situaciones que se presentan en la producción de caña: condiciones climáticas, variedad de caña, calidad del suelo, tipo de fertilización, grado de mecanización de las operaciones agrícolas, etc.

Si comparamos este índice con los de otras biomásas agrícolas como el maíz que es reportado como 8,9 (8) ó 3,9 reportado (3) para ciertas especies maderables de muy alto rendimiento, podemos apreciar que además de obtenerse mayores rendimientos de biomasa con la caña de azúcar, ventaja también a éstas en el balance energético que resulta en su producción. Es evidente la potencialidad de la caña de azúcar como fuente de energía renovable.

COMO APROVECHAR LA ENERGIA CONTENIDA EN LA CAÑA DE AZUCAR ?

La energía que contiene la caña de azúcar, se encuentra distribuída entre los azúcares totales y la fibra. El primero, representa el 11% del peso de la caña y el segundo el 14%. El agua, constituye aproximadamente un 75% del peso total de la caña, disminuyendo apreciablemente su potencial energético de no ser eliminando convenientemente.

En la actualidad, toda la caña de azúcar que se produce en el mundo se destina a la producción de azúcar y mieles. De acuerdo al sistema de cosecha más difundido, de la caña completa, las hojas y el cogollo que representan un 25% queda sobre el campo cosechado y es utilizado como abono orgánico y en ocasiones como alimentación animal; la fibra seca que contiene la caña molible y que representa un 10% de la caña completa, se utiliza como combustible, en la producción de azúcar y es consumida totalmente; el azúcar, que se produce representa un 8% y las mieles el 2.5%, los cuales se obtienen como producto; el resto, es agua, de la cual una parte acompaña a las hojas y el cogollo en el campo y otro es un efluente de la fábrica de azúcar.

En América Latina, actualmente se producen aproximadamente 320 millones de tm de caña completa, que representan en términos de energía 320 millo-

nes de Mcal de los cuales se aprovecha como combustible, según las tecnologías más difundidas, solamente un 10%, que se consume en la propia producción de azúcar.

Este bajo aprovechamiento, que se tiene del potencial energético de la caña tiene su explicación en los bajos precios de los combustibles fósiles, que prevalecieron hasta hace poco. Ahorros de energía en la producción azucarera con el objetivo que sobrara fibra, no tenía razón debido a no tener utilización. En algunos casos, sin embargo donde la industria de los derivados del bagazo, ha tenido importancia, se han hecho innovaciones que han permitido obtener hasta 20% de bagazo sobrante para esos fines como es el caso de la Taiwan Sugar Co. según ha reportado (14). Los nuevos centrales azucareros que se construyen en Cuba, han sido diseñados para obtener 27% de bagazo sobrante y además producir 6 kw/h/tm de caña molible para suministro a la red nacional.

Por lo general las instalaciones de producción de azúcar de caña existentes actualmente han sido diseñadas con el propósito de consumir toda su fibra, evitando de esta forma disponer de un efluente sólido costoso de manipular como es el bagazo. El consumo de energía de esas instalaciones ascienden a 517 kcal/kg de caña molible.

Estudios realizados (9) dan como posibles la disminución de esos consumos a niveles de 260 kcal/kg.

BALANCE ENERGIA DE LA FABRICA

Kcal/Kg Caña Molible

Potencia	24
Calefacción, Evaporación y Tachos	160
Otros usos y Pérdidas	24
Pérdidas en Combustión	52
Total:	260

Para ello se propone utilizar calderas de vapor con eficiencia térmica de un 80%; en la mayoría de los países las existentes tienen eficiencias de 55 a 65% (V.C.B.). El consumo de vapor de proceso que ascien-

de actualmente a un 65% de la caña molible es factible disminuirla hasta un 37% mediante cambios en los sistemas de evaporación.

De acuerdo a estas modificaciones, sobrantes de fibra de la producción azucarera del orden de 40% puede ser utilizado como combustible para otras industrias o para la producción de energía eléctrica en la propia fábrica de azúcar para ser suministrada a la red nacional.

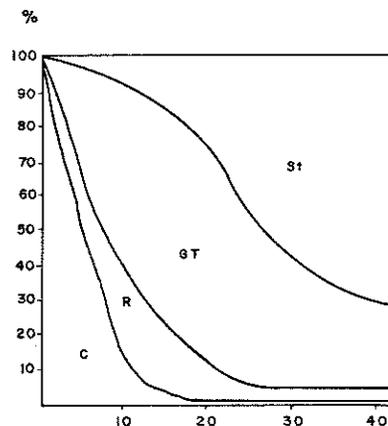


FIG. 1 TENDENCIA DE PORCENTAJE DE LA COMPOSICION VEGETATIVA, EXPRESADOS COMO POR CIENTO DEL PESO SECO TOTAL. C ESTACA, R RAICES, GT COGOLLO, St. TALLO

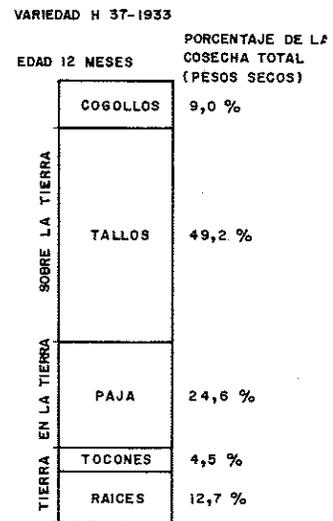


FIG. 2 COMPOSICION VEGETATIVA DE UNA COSECHA DE 12 MESES DE EDAD EN HAWAII

Para esa alternativa se dispone en la actualidad de calderas de bagazo de 81 atm de presión que en combinación con esquemas de proceso de bajo consumo de vapor, como al que hemos hecho referencia, pueden producir para la red nacional 72 Kw-h/tm de caña molible. (10).

Si toda el azúcar de caña que se produce en América Latina actualmente se produjera en instalaciones como la anterior, la energía que se aprovechara para la producción de electricidad equivaldría a consumir 4.8 millones de tm de petróleo anuales en una termoeléctrica, además de satisfacer las necesidades energéticas de la producción azucarera.

Si tomamos en consideración que de acuerdo a los estimados de energía de la producción de caña se necesitarían 2,5 millones de tm de petróleo como combustible, el aprovechamiento energético de ese volumen de caña, por este modelo, además de autoabastecerse de energía, resultaría en un ahorro para la región de 1.3 millones de tm de petróleo anuales.

Otra alternativa de aprovechamiento energético, que en los últimos tiempos ha ganado mucha popularidad es la producción de alcohol a partir de la caña. Este producto se ha obtenido, en la industria azucarera, tradicionalmente a partir de las mieles de caña para ser utilizado como bebida, producto medicinal, perfumes y como combustible.

En la producción de alcohol a partir de las mieles de caña, el consumo de energía total (combustible y electricidad) expresado en términos de petróleo equivalente es de 0.5 tm/tm de alcohol y el consumo de miel en la producción de alcohol es de 4 tm/tm de alcohol.

Si las mieles que se obtienen de la producción de azúcar se dedicara a producir alcohol, significaría que de 100 tm de caña completa, se produciría 0.63 tm de alcohol, que equivale a 4410 Mcal. Según este modelo de producción de alcohol, se necesitan 0.32 tm de aceite combustible en el proceso de producción de alcohol y 0.8 tm en la producción de la caña lo cual totaliza 11872 Mcal y se obtiene entre energía que brinda el alcohol y la consumida en la producción de azúcar 56110 Mcal, lo que significa que se obtiene 4,7 veces la energía que se consume en el proceso productivo.

Una alternativa a que se ha hecho referencia en los últimos tiempos consiste en dedicar todos los azúcares que contiene la caña para la producción de alcohol (11) (12). En este modelo la fibra que contiene la caña es suficiente para satisfacer la energía que consume el proceso y además producir energía eléctrica para la red nacional. Se reporta que es posible obtener 138 kw-h/tm de caña para la red nacional y 59 kg de alcohol/tm. Basándonos en el índice de consumo de petróleo de las termoeléctricas la producción de electricidad para la red nacional equivale a 38 kg de petróleo/tm de caña completa y el alcohol por su contenido energético equivale a 39 kg lo que resulta en total una producción de energía equivalente a 77 kg de petróleo/tm de caña completa, además de suplir las necesidades energéticas del proceso; que comparado con el consumo en la producción de caña, significa que se obtiene 10 veces la energía fósil consumida en la producción de la caña.

Es de resaltar el potencial que representa la paja y el cogollo que como hemos explicado anteriormente de acuerdo a los criterios tecnológicos vigente actualmente en la producción de azúcar, se queda en un 90% en el campo cosechado.

La producción de azúcar de América Latina significan disponibilidades de esta fibra del orden de 80 millones de tm, material que debidamente procesado, posee las mismas características del bagazo como combustible, lo cual significa que las disponibilidades antes referidas equivalen a un suministro a la región de 8 millones de tm de petróleo anuales.

Sin embargo esta alternativa tiene sus problemas que no han sido resueltos todavía para su implementación. Como se menciona en párrafos anteriores la paja y el cogollo es utilizado fundamentalmente como abono orgánico de los suelos, aunque cuando se practica la quema, del campo de caña, para mejorar la productividad de la cosecha, o eliminar animales dañinos al hombre, que se alojan en el área cañera, las hojas son incineradas sin utilización. Esto último es una demostración de la falta de definición sobre el aporte de la paja y el cogollo a la siembra y cultivo de la caña.

Otro problema que debe ser solucionado está relacionado con la recogida y preparación de ese mate-

rial para ser utilizado como combustible. Cuando el corte de la caña es manual, la paja y el cogollo se quedan sobre el campo o es separada en centros de acopio que procesan la caña, antes de ser transportada al central azucarero, con el objetivo de eliminar materiales indeseables. En ese caso una parte apreciable de la paja y el cogollo puede ser recolectado en estos centros.

Cuando la caña es cortada por cosechadoras, la paja y el cogollo es separada por la máquina brindando la posibilidad de recogerla a granel.

Otro factor de los problemas, está relacionado con la humedad de esos materiales. Por medio de la energía solar, la paja y el cogollo alcanzan una humedad de equilibrio de 15-12%, cuando se queda sobre el campo. Pero cuando se proceda a su recolección deberá ser solucionado el problema de secarlo sin consumos de combustible fósil; una alternativa consiste en compactarlo y almacenarlo en paca al aire libre como se práctica con el bagazo cuando se utiliza como materia prima, en las plantas de derivados. Por esta vía, es posible disminuir su humedad hasta niveles de un 20%, lo cual incrementaría su calor de combustión de un 10-15%.

LA CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA

La dependencia de los modelos de desarrollo económico social con los recursos energéticos fósiles, no se limita solamente a los aspectos relacionados con la utilización de estos como combustibles, sino también, como materia prima para la industria. La mayor parte de los productos de síntesis orgánica que se producen en el mundo, proceden del petróleo como materia prima fundamental; los fertilizantes nitrogenados, base fundamental de la producción agrícola y requisito indispensable en cualquier modelo de desarrollo agrícola se producen con tecnologías basadas en el petróleo como una de las materias primas principales.

La abundancia relativa y los bajos precios del petróleo prevalecientes hasta el año 73, hizo que una buena parte de las tecnologías productoras de bienes materiales, se desarrollarán a partir de ese recurso energético. Así tenemos como los tejidos de algodón y celulosa fueron desplazados parcialmente por los productos de poliéster, los envases de papel, cartón y madera fueron sustituidos en gran medida por diferentes tipos de plásticos, etc., y así un sin número de productos que tradicionalmente se producían con recursos renovables fueron parcialmente desplazados por los derivados del petróleo.

Es así como la faseta de la crisis energética consiste en el suministro de recursos energéticos renovable como materia prima a la industria química.

En relación a esta problemática la caña de azúcar es una opción atractiva. Tradicionalmente la caña se ha utilizado como materia prima para la producción de azúcar y como subproductos se obtiene cachaza, mieles, bagazo y los residuos de la cosecha, paja y cogollo. Aproximadamente por cada tm de caña molible se obtiene 120 kg de azúcar crudo, 38 kg de miel final, 36 kg de cachaza, 280 kg de bagazo y 330 kg de paja y cogollo.

Estos sub-productos utilizados como materia prima dan origen a una familia de productos que conforman en su conjunto una industria de derivados, con grandes perspectivas sobre todo para aquellos países en vías de desarrollo, que no poseen petróleo.

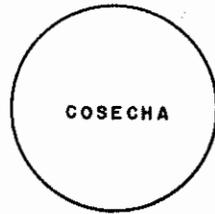
Derivados del Bagazo

En la fig. 4 se resumen los derivados del bagazo. De éstos la producción de pulpas papeleras, tableros y furfural se han implementado en escala industrial. Los demás aunque son factibles de producir, se encuentran en etapa de desarrollo, y en alguno de ellos su implementación industrial aunque técnicamente factibles no se ha llevado a efecto por consideraciones económicas.

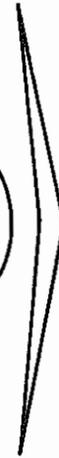
POTENCIALIDAD ENERGETICA DE LA CAÑA DE AZUCAR

ENERGIA SOLAR

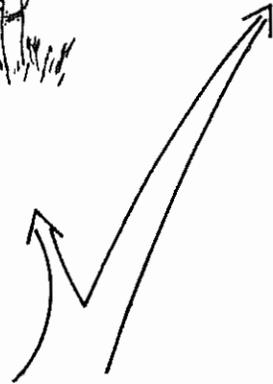
CAÑA (TALLO, HOJA, COGOLLO)
51500 MTM



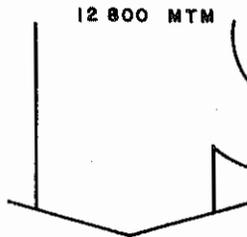
CAÑA MOLIBLE
38700 MTM



	MTM
AZUCAR	3800
ALCOHOL	225
TORULA	60
AC. CITRICO	5
PAPEL IMP. B ESC.	150
PAPEL PERIODICO	45
PULPA DISOLV.	35
TABLEROS	150
FURFURAL	15

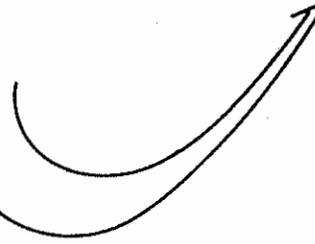


ENERGIA FOSIL
PET. EQUIV. 412 MTM



PAJA Y COGOLLO

12 800 MTM



COMBUSTIBLE
1700 MTM

FIG. 5

Pulpa y Papel

En la producción de pulpas papeleras se consume actualmente el 5% del bagazo que se produce mundialmente. Esta es una producción reconocida como la más atractiva entre las que utilizan plantas anuales con materia prima. Las limitaciones de la industria forestal para satisfacer las demandas de papel, ha incidido favorablemente en el desarrollo de este derivado. El consumo de papel estrechamente vinculado al nivel de desarrollo de un país, ha de seguir incrementándose en los próximos años, motivado por el desarrollo que han de experimentar los países en vías de desarrollo.

La América Latina tiene un consumo per cápita de 23 kg contra 73 que tiene Europa y 270 América del Norte. La capacidad instalada de producción de pulpa y papel a partir del bagazo en la región asciende a 3360 tm/d.

CAPACIDAD INSTALADA DE PULPA Y PAPEL A PARTIR DEL BAGAZO EN AMÉRICA LATINA

País	Capacidad TM/D
Argentina	220
Brasil	155
Colombia	95
Costa Rica	60
Cuba	425
Ecuador	25
México	1385
Perú	765
Puerto Rico	160
Venezuela	70
Total:	3360

La pulpa de bagazo es utilizada actualmente en diferentes proporciones para la producción de todos los tipos de papel y cartón exceptuando el papel periódico, el cual por sus características técnico económicas no ha sido factible producirlo. Algunas inversiones industriales se han realizado con ese objetivo recientemente en América Latina, sin haber obtenido éxitos hasta el momento, en nuestro país se lleva a efecto un

proyecto de investigación con la colaboración de la ONU, para el desarrollo de una tecnología para esa producción.

CONSUMO DE BAGAZO PARA 1 TM DE PAPEL

Tipo de Pulpa	Tipo de Papel	Consumo de Bagazo 50% Hum.
Pulpa Química	a) Imprenta & Escribir	5,6
	b) Papeles Industriales	
	Envolver	3,9 (55)
	Cartoncillo	3,5 (50)
Pulpa Semiquímica	c) Papeles Sanitarios	4,6 (60)
		4,9 (70)
	d) Papel para corrugar	4,8TM(100)

Tableros de Bagazo

Las necesidades crecientes de muebles y madera para la construcción no son posibles satisfacer a partir de los recursos forestales existentes, dedicados también a otras producciones entre ellas el de combustible. En busca de materiales que puedan cubrir parte de la demanda, se ha encontrado el bagazo de la caña de azúcar.

La producción mundial de tableros de partículas promedio del año 72 al 76, 29,381 miles m³/año; la de tablero de fibra fue de 15,864 miles m³/año. De estas cantidades 214 mil m³/año fue a partir del bagazo. En la actualidad existe una capacidad instalada para la producción de tableros de bagazo que asciende a 360 mil m³/año.

Las propiedades del tablero de bagazo cumplen las normas de calidad establecidos para los tableros de madera. El consumo por cada 1000 habitantes en la América Latina es de 4 m³; si lo comparamos con otras regiones, como Europa Occidental con 54 m³ podemos apreciar los incrementos de consumo que deben alcanzarse para llegar a los niveles de desarrollo que tiene esa región en el año 74, en esa rama de la economía.

CONSUMO POR 1000 HABITANTES 1974
TABLEROS DE FIBRA Y PARTICULAS

Regiones	M ³
Norte América	65
Europa Occidental	54
Países Nórdicos	148
USSR	18
Africa	0.5
América Latina	4
Oriente Medio	1.7
Lejano Oriente	0.2

Sin embargo los recursos forestales de la región no son abundantes caracterizándose por bosques de madera dura mezclados nativos sin explotar en su mayor parte. Los consumos de bagazo (50% humedad) para la producción de 1 tm de tableros son:

Tableros de partículas: 3.8 tm
Tableros de fibras: 5.5 tm

Furfural

El furfural y sus derivados se utilizan como materia prima en la industria de grasas, lubricantes, siderúrgica, química y farmacéutica. Los derivados del furfural son numerosos y su aplicación están bien establecidos.

La producción mundial de furfural en el año 75 fue de 230,000 tm, de esta cifra el 25% se produce a partir del bagazo de la caña de azúcar.

De la producción de furfural del año 75 el 50% se dedicó a alcohol furfurílico, el 30% a los plásticos, el 10% como solvente selectivo y el resto a otros usos entre los que se encuentran productos farmacéuticos y pesticidas.

El consumo de bagazo de las tecnologías existentes promedia 10 tm de bagazo (50% humedad) por tm de furfural. De acuerdo a ese rendimiento, en el mundo se dedica aproximadamente 2 millones de tm de bagazo que representa sólo un 1% del bagazo que se produce mundialmente en la producción de azúcar.

DERIVADOS DEL FURFURAL

Furfural	Alcohol Furfurílico
	Resinas Furfural Acetona
	Anhidrido Maleico
	Furano
	Acido Furoico
	Tetrahydro Furano

De los derivados del furfural, se obtiene un sinnúmero de productos que van desde el nylon, hasta resinas de poliesters y pesticidas muchos de los cuales se producen industrialmente y otros se encuentran en la etapa de desarrollo.

Un atractivo adicional de esta producción consiste en que se auto-abastece de energía, para lo cual utiliza el residuo de celolignina que se obtiene como combustible.

Derivados de las Mielés

La miel es el sub-producto de la producción azucarera más utilizado en el presente como fuente de alimentación animal: aproximadamente un 50% de la miel que se produce en el mundo se dedica a alimentación animal ya sea como alimento directo o mediante su conversión en proteína.

Como alimento directo se le complementa con urea y forma parte de los piensos que se dedican a la alimentación del ganado avícola, vacuno y porcino. Su conversión en proteína es mediante la fermentación para producir levadura torula, en Cuba existen once plantas industriales que producen 30 tm/d de este tipo de levadura.

Otro uso de la miel es para la producción de alcohol; aproximadamente el 15% de la miel producida mundialmente se dedica a esa producción. El alcohol producido por esta vía es utilizado como bebida, producto farmacéutico, perfumes; en menor cuantía se utiliza como combustible. El índice de consumo de miel es aproximadamente 4 tm/tm de alcohol. En Cuba se produce más de 1 millón de hl anuales de alcohol.

PRINCIPALES DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR

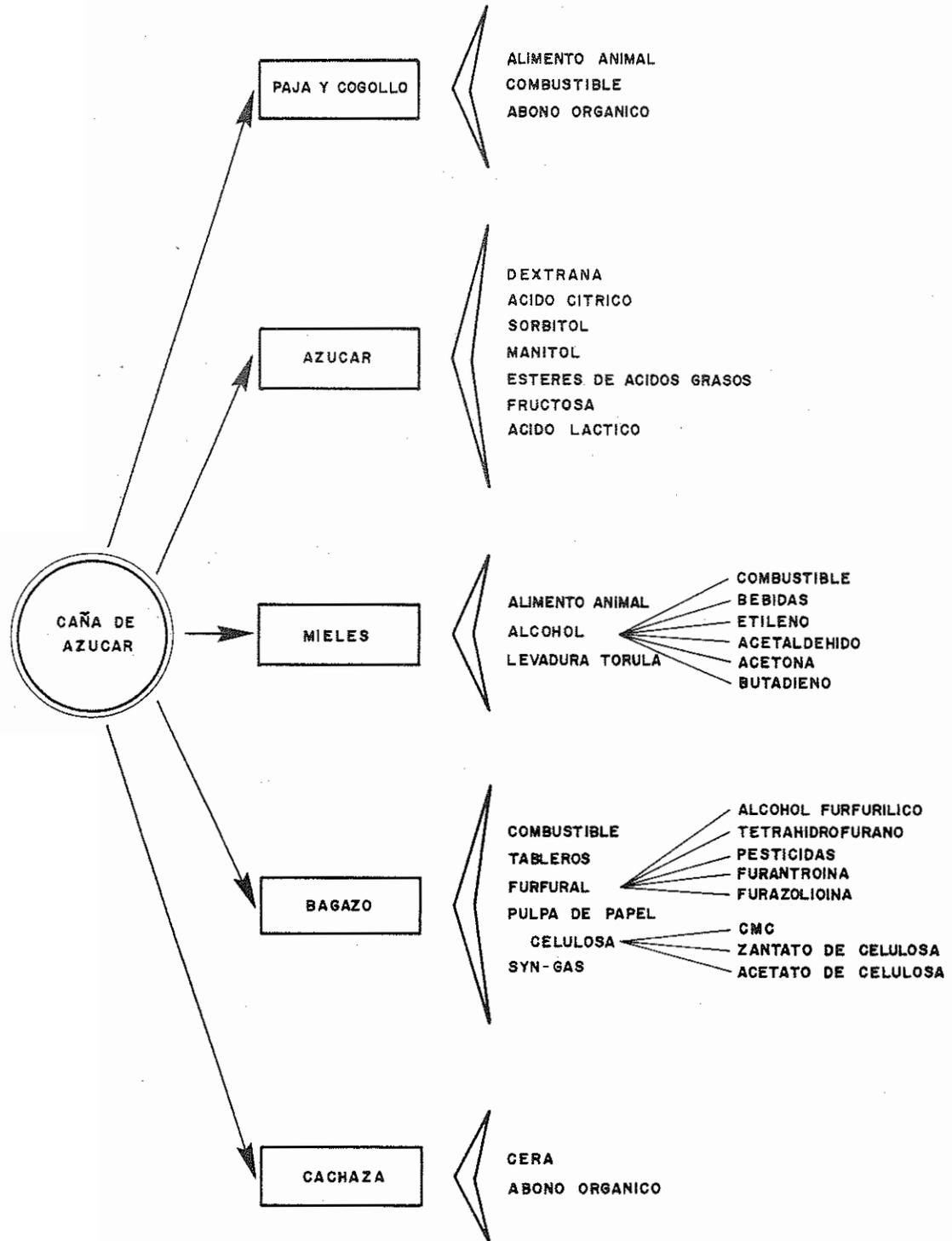
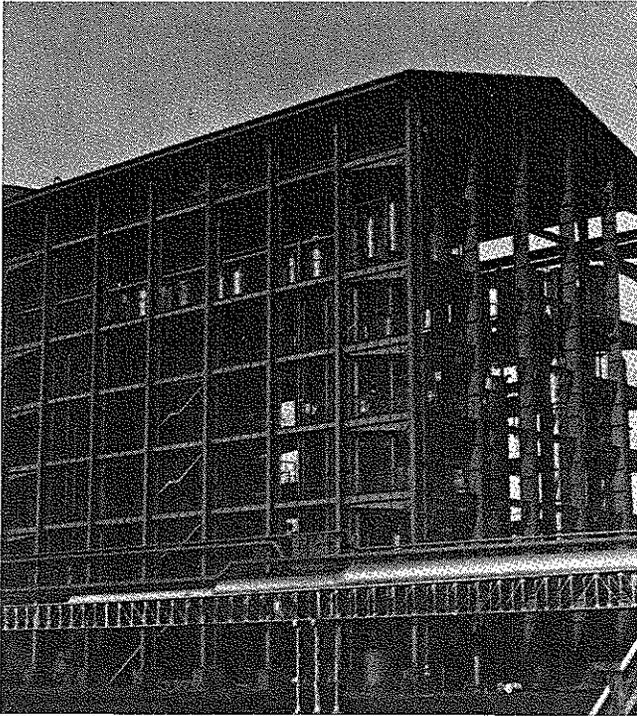


FIG. 4



En los últimos tiempos en el Brasil se ha entanzado el uso de alcohol como combustible.

En los últimos tiempos en el Brasil se ha hecho énfasis en este uso como sustituto de la gasolina, ya en la II Guerra Mundial ésta utilización fue experimentada con buenos resultados posteriormente fue descontinuados en la mayoría de los países por no poder competir con los derivados del petróleo.

Una desventaja de esa tecnología es el alto consumo de combustible: 0.5 tm/tm de alcohol. Sin embargo una integración energética adecuada entre la fábrica de azúcar y la destilería de alcohol pueden disminuir significativamente estos consumos.

Una alternativa tecnológica sobre la cual se hace mucho énfasis es a partir de la caña, lo cual significa sembrar caña para esos fines.

Los productos químicos derivados del alcohol son ampliamente conocidos: acetaldelido, etileno, acetona, butadieno, etc. Todos los cuales son a su vez materia

prima de otras industrias como son: polietileno, poliestireno, acetato de celulosa, metilisobutil cetona, etc. Este derivado de la miel o la caña de azúcar es una alternativa que puede hacer frente a los déficit de alcohol de la industria petroquímica producto de las crisis energéticas.

Otros productos que se obtienen a partir de las mieles por vía fermentativa son: Butanol, acetona, ácido láctico, ácido acético, lisina, ácido glutámico, ácido cítrico, etc., los cuales son utilizados como materia prima en la industria alimenticia y química.

Derivados de la cachaza

La cachaza es el residuo que se obtiene en la etapa de clarificación del jugo de caña en la tecnología de producción de azúcar crudo. El uso tradicional que ha tenido es como abono en la siembra y cultivo de la caña. Su alto contenido de fósforo (P_2O_5 - 3-5%) y de materia orgánica, la ha hecho siempre atractiva para esa utilización.

Como materia prima industrial se ha dedicado a la producción de cera. Algunas instalaciones industriales han estado en operación en otros tiempos. En Cuba existe una planta fuera de operación, para la producción de cera cruda.

Sucroquímica

El término sucroquímica abarca todos aquellos productos derivados del azúcar. De este producto de la caña se ha logrado obtener un gran número de productos que sirven como materia prima de la industria química y alimenticia. Los principales usos son como tensoactivos, plásticos, plastificantes, aditivos alimenticios y farmacéuticos. Manitol, sorbitol, dexfrana, ácidos grasos y esterés, ácido aconítico, ácido cítrico, ácido láctico, frutosa, etc.; son algunos de una gran familia de derivados.

El desarrollo industrial de estos derivados, ha sido sin embargo muy limitado, debido fundamentalmente a la competencia de los derivados del petróleo. Es de esperar que en un futuro según se agudice el problema del petróleo, esta línea de derivados, cambie sustancialmente su status actual.

POTENCIALIDAD ENERGETICA DE LA CANA DE AZUCAR

En los párrafos anteriores, se ha resumido las posibilidades que tiene la caña de azúcar, de contribuir a la solución de los problemas, que se derivan de la crisis energética. Tanto como energético o como fuente de materia prima la caña de azúcar es un recurso renovable, con una potencialidad no aventajada hasta el momento por otras biomásas.

Los volúmenes de producción mundial, lo difundida que se encuentra su producción, sobre todo en los países sub-desarrollados, y la experiencia acumulada en su tecnología, le añaden atractivos, que la convierten de materia prima productora de azúcar que es su status actual, en un recurso renovable que puede con-

tribuir significativamente al desarrollo industrial, sobre todo de los países sub-desarrollados no productores de petróleo, que por lo general coinciden en tener condiciones para el cultivo de esta biomasa.

La diversidad de productos que se pueden obtener a partir de la caña así como sus posibilidades energéticas, hacen de ella una opción atractiva para el desarrollo industrial relativamente al margen de la crisis energética.

A manera de ilustración, del significado de esta expresión nos vamos a referir a un caso de aprovechamiento integral de la caña de azúcar, en el cual se obtiene una serie de productos y se auto-abastece energéticamente sus producciones.

PRODUCCION DE DERIVADOS Y CONSUMO ENERGETICO

Producto	Producción MTM		Mat.Prima MTM	Combustible Elect. MTM	10 ³ Mw-h
Alcohol	225	Miel	900	127	67,5
Lev. Torula	60	Miel	240	42	78,0
Ac. Cítrico	5	Miel	20	8	19,0
Papel Imp. & Esc.	150	Bag.	840	105	90,0
Papel Periodico	45	Bag.	150	19	67,5
Pulpa para Disolver	36	Bag.	500	9,4	7,8
Tableros de Partículas	150	Bag.	635	19,0	52,5
Furfural	15	Bag.	370	—	11,2

Consumo Total

Miel = 1160 MTM Petróleo Combustible = 329,4 MTM

Bagazo = 2495 MTM Electricidad = 393,5 X 10³ Mw-h

El modelo del sistema, a que hacemos referencia se concibe de forma, que el central azucarero suministre la materia prima (miel y Bagazo) para las industrias derivadas y además la energía eléctrica que consumen. La energía equivalente del petróleo requerido es suministrada por: el meollo que se obtiene en el desmulado del bagazo, tratamiento obligado a que se somete cuando es dedicado a pulpas papeleras y tableros y aprovechamiento de parte de la paja y el cogollo dispone en la cosecha de la caña.

Para estos combustibles hemos asumido que su eficiencia de combustión por sus características físicas es un 85% de la que se logra actualmente con el bagazo.

— Caña Completa (caña molible / hojas / cogollo)	51,500 MTM
— Bagazo:	
Requerido	2,495
Disponible	10,800
— Miel:	
Requerida	1,160
Disponible	1,160
— Azúcar Producida	3,800
— Cachaza Producida	1,500
— Paja y Cogollo	
Disponible	12,800
Requerida (combustible)	1,700
— Meollo	
Disponible	600
Requerida (combustible)	600
— Energía Requerida:	
Electricidad	394 x 10 ³ Mw-h
Aceite Combustible	329,4 MTM
— Energía Marginal de la Producción de Azúcar	
Electricidad Marginal	394 x 10 ³ Mw-h

De acuerdo con esa concepción, es necesario producir 3,8 millones de toneladas de azúcar, con una eficiencia térmica que permita obtener un 23% de su bagazo como sobrante, para ser utilizado como materia prima y además energía eléctrica marginal en una

cuantía de 10 kw-h/tm de caña molible. Ese nivel de eficiencia térmica, no es difícil lograr en la industria azucarera De Armas (11) reporta niveles de 47 kw-h/tm de caña molible y 18% de bagazo sobrante con consumos de vapor en proceso de 37% en base a la caña molible y con presiones de vapor de 78 atm. Disminuyendo la presión adecuadamente se puede obtener la energía eléctrica requerida e incrementar el bagazo sobrante hasta un 23%.

El meollo que se obtiene de la preparación del bagazo dedicado a pulpas papeleras y tableros representa un 30% del consumo de bagazo indicado y es utilizado como combustible totalmente. Sin embargo debemos resaltar que este sub-producto, en nuestra opinión tiene mejor utilización como alimento animal, no obstante haberlo considerado en este esquema como combustible. En Perú y México existen actualmente calderas instaladas que utilizan meollo como combustible principal y adicionalmente aceite combustible con el objeto de asimilar las variaciones de humedad de este material.

La paja y el cogollo que se necesita como combustible, representa un 13% de lo producido en la cosecha de la caña requerida. Se reporta que una cosechadora de caña (13), con modificaciones adecuadas puede recobrar un 20%; otra alternativa se basa en los centros de acopio de caña del tipo que se utiliza en Cuba. Por supuesto esta alternativa no se encuentra disponible para su aplicación inmediata, estudios con el objetivo de desarrollar tecnologías que permitan disponer de este sub-producto como combustible se llevan actualmente en el ICIDCA.

La caña que se necesita producir en este modelo requiere de 515 mil ha de terreno dedicado a la siembra y cultivo, y consume 205 mil tm de aceite combustible en su producción el cual pudiera ser satisfecho por la paja y el cogollo restante si este se dedicara totalmente ser consumido como combustible.

El modelo seleccionado no es el único y existen otras combinaciones de productos que de acuerdo a las limitaciones técnicoeconómicas de cada país pueden complementar los requerimientos de un desarrollo industrial con una mínima afectación por la crisis energética.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Perspectivas del Aprovechamiento de la Energía Solar en Cuba
Berriz L.
Investigaciones sobre la utilización de la Energía
Sd. Academia. Oct. 1979
- (2) The Growing of Sugar Cane
Humbert P.R.
Ed. Elsevier Publishing Co. 1962
- (3) Recoverable energy from the forests
Blankenhorn, P.R., Bowersox W., Murphey W.K.
Tappi Vol. 61 N° 4 April 1978
- (4) 'Yearbook of Forest' Products
FAO 1975
- (5) Botánica de la Caña de Azúcar
Dillowijin C. Van
Edición Revolucionaria
Instituto del Libro
- (6) Riego por Aspersión, su Aplicación en la Caña de Azúcar
Gpo. de Investigaciones Hidráulicas INRA
Instituto del Libro 1968
- (7) Experiencias en Planes de Reposición de Cepas y Cultivo de la Caña de Azúcar
Del Prado N.
1º-Forum Azucarero Nacional
Academia de Ciencias, La Habana 1965
- (8) Sugar Cane: Energy Relationships with Fossil Fuels
Hudson J.C.
Sugar Journal Oct. 1975
- (9) Suministro de Bagazo a las Fábricas de Derivados y Eficiencia Térmica de las Fábricas de Azúcar
De Armas, C., López, P.
Cuba Azúcar p. 42 Abril
Cuba Azúcar p. 42 Abril/Junio 1978
- (10) Energía Marginal en la Producción de Azúcar de Caña
De Armas, C., Pérez, L., López, P.
Seminario Racionalización Energética de la Industria de Azúcar de Caña
Organización ONUDI, OLADE, GEPLACEA
Septiembre 1980
- (11) La Caña de Azúcar y la Crisis Energética
López, P., De Armas, C.
Seminario "Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar"
Organización GEPLACEA-ICIDCA
La Habana 1978
- (12) Alcohol Etílico, el Combustible Automotor del Futuro
Kampen W.H.
Azúcar y Diversificación p. 24 N° 38 Agosto 1979
- (13) La Industria de la Caña de Azúcar en el marco de la Crisis Energética
López, P., De Armas, C.
Caribbean Consultations on Energy and Agriculture
Sto. Domingo 1978
- (14) Progress of Taiwan Sugar Co. Engineering
Taiwan Sugar Journal
Vol 23 N° 2. 1976