

# REVISTA ENERGETICA

4/83

Julio - Agosto/83  
July - August/83



Organización Latinoamericana de Energía  
Latin American Energy Organization

CONSIDERACIONES SOBRE EL USO RACIONAL DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA LATINOAMERICANA **olade** CONSIDERATIONS FOR RATIONAL USE OF ENERGY IN LATIN AMERICAN INDUSTRY **olade** USO DE LA CASCARA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA CEMENTERA "EL CASO DE URUGUAY" **olade** USE OF RICE HUSKS AS FUEL FOR THE CEMENT INDUSTRY: THE CASE OF URUGUAY **olade** USO RACIONAL DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA "LA EXPERIENCIA CUBANA" **olade** RATIONAL USE OF ENERGY IN THE SUGAR INDUSTRY: THE CUBAN EXPERIENCE **olade** EL PROGRAMA ENERGETICO DE JAMAICA **olade** JAMAICA'S ENERGY PROGRAMME **olade** USO RACIONAL DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE BAUXITA "EL CASO DE SURINAM" **olade** RATIONAL USE OF ENERGY IN THE BAUXITE INDUSTRY: THE CASE OF SURINAME **olade** PROYECTOS DE CONSERVACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA NICARAGUENSE **olade** ENERGY CONSERVATION PROJECTS IN NICARAGUAN INDUSTRY

# USO RACIONAL DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA "LA EXPERIENCIA CUBANA"

**Luis O. Gálvez Taupier**

VICEMINISTRO, MINISTERIO DEL AZUCAR DE CUBA

## INTRODUCCION

La energía solar es una de las mayores reservas de energía disponible al hombre en el umbral del total agotamiento de combustibles fósiles, la principal fuente energética utilizada desde que éste aprendió a valerse del fuego.

Sin embargo, su carácter de no continuidad a lo largo de las 24 horas del día, su variabilidad de dependencia de las condiciones climáticas, y las formas no simples en su recepción y transformación de maneras efectivas de utilización, han limitado su empleo. Las diferentes formas del uso de la energía solar pueden seguir dos líneas: una a través de la cual la radiación solar se concentra por medios ópticos para alcanzar temperaturas y cantidades de energía suficientemente altas, y otra que aprovecha la potencialidad de la energía solar de sintetizar biomasa a través del metabolismo de vegetales que a su vez son usados como combustibles de diferentes maneras.

En la actualidad se están llevando a cabo nuevos estudios para mostrar las posibilidades de diferentes cosechas energéticas como el sorgo, la caña de azúcar, la madera, etc. En este Seminario dirigimos nuestro estudio a las posibilidades de la caña de azúcar, la cual, aunque está lejos de satisfacer nuestras necesidades de energía total, puede hacer importantes contribuciones al balance energético de nuestros países.

La materia seca de la caña de azúcar cuando se quema libera 4.000 kcal/kg (7.200 Btu/lb). Sobre la base de máximos rendimientos agrícolas, se puede obtener hasta 200 millones de kcal/ha-a, equivalente a cerca de 20 tm de petróleo. Sin embargo, después de un análisis de la eficiencia técnica del procesamiento de la caña de azúcar, incluyendo generación de vapor, llegamos a la conclusión que un primer paso en la utilización de la caña de azúcar como fuente energética es la de aprovechar las reservas que tenemos en nuestras fábricas de azúcar. Demostrar la potencialidad del procesamiento de la caña de azúcar es el objetivo de este trabajo.

El esquema energético de la mayoría de las fábricas de azúcar muestra enfoques técnicos de comienzos de este siglo. La máquina de Corliss había sido definida como el motor primario más adecuado para los molinos de caña, principal consumidor de energía mecánica en la fábrica. Otros tipos de máquinas de vapor se usaban con otros propósitos, en bombas, centrífugas y cristalizadores, etc., e incluso para la generación de energía eléctrica, aunque para este propósito la utilización de la turbina de vapor se introdujo desde hace muchos años.

La presión y temperatura de diseño del vapor eran aquellas que resultaban adecuadas para las máquinas Corliss y otras máquinas de vapor alternativas, es decir, la presión en el rango de 8 a 10 kg/cm<sup>2</sup> (120 a 150 lb/pulg<sup>2</sup>), sin sobrecalentamiento. Con tales condiciones termodinámicas de vapor se diseñaron la mayoría de las fábricas de azúcar existentes, lo que permitió un buen balance entre el requeri-

miento de vapor de alta presión y el de calentamiento, no siendo necesario ningún otro combustible aparte del bagazo obtenido en la molienda de la caña.

Durante el último cuarto de siglo muchas industrias que utilizan bagazo como principal materia prima se han establecido sobre la base de que el bagazo que se lleva a las calderas de las fábricas de azúcar es sustituido por combustible fósil en éstas. Desde luego, con el surgimiento de la crisis energética en 1973, los precios de los combustibles fósiles, especialmente los del petróleo combustible, se han incrementado mucho, induciendo un alza también en los precios del bagazo.

Para resolver este problema muchas empresas comenzaron a mejorar la eficiencia en la fábricas de azúcar siguiendo más o menos las experiencias de la industria del azúcar de remolacha, que no cuenta con desperdicios para quemar y aún durante los períodos de bajos precios de los combustibles fósiles, tenían que buscar formas térmicamente eficientes de procesamiento.

Analizando los diagramas de flujo eficientes, los especialistas en este campo han encontrado que la industria de la caña de azúcar puede no sólo lograr bagazo sobrante, sino también, aprovechando las ventajas de la co-generación, entregar como sobrante importantes cantidades de energía eléctrica.

Actualmente, los grupos más destacados de ingeniería y diseño, tienen una nueva concepción del esquema energético de la fábrica de azúcar, siguiendo nuevos enfoques orientados hacia soluciones mucho más eficientes. Un punto altamente controvertible que ha aparecido, es el de la presión y la temperatura del vapor de alta, ya que para lograr que los ciclos para la co-generación sean más eficientes se requieren inexcusablemente altas presiones y temperaturas.

Además, durante los últimos 30 años, el desarrollo tecnológico de la ingeniería de la fabricación de azúcar ha ampliado el horizonte de soluciones cuando se conciben presiones y temperaturas altas en el va-

por. Ejemplo de esto lo constituyen el uso de las turbinas de vapor y las modernas unidades motrices eléctricas en los molinos, el uso de turbogeneradores de extracción-condensación, así como el desarrollo de calderas de alta presión para bagazo.

Es interesante considerar adicionalmente las posibilidades de los residuos de la cosecha, los que en la mayoría de los casos se pierden o se queman en el campo. Si se hace un balance de los residuos, la potencialidad de la generación se multiplica por tres, ya que el contenido de materia seca en los residuos es el doble del que hay en el bagazo. En total, la industria del azúcar de caña muestra en los países de GEPLACEA una potencialidad de 22 millones de toneladas de petróleo.

El generar vapor de alta presión y temperatura y el utilizar eficientemente el vapor en el proceso, hacen posible que la fábrica de azúcar, después de satisfacer sus requerimientos energéticos, esté en condiciones de entregar por tm de caña molienda, hasta 25 kg de petróleo equivalente en la forma de bagazo sobrante y/o electricidad, es decir, la mitad de lo que está disponible en el bagazo.

#### **AHORRO DE ENERGIA Y BAGAZO: ALGUNAS ALTERNATIVAS**

Como se puede apreciar de la introducción, las mejoras en la eficiencia térmica de la fábrica de azúcar pueden ser orientadas a obtener bagazo sobrante, energía eléctrica marginal, o una combinación de ambas. La selección de un programa concreto estará relacionado con los objetivos económicos y/o sociales, como el desarrollo de una industria de derivados de la caña, la política energética nacional y otros.

Los principales aspectos relacionados con el esquema energético de las fábricas de azúcar y su desarrollo se han tratado en la literatura azucarera así como en seminarios y conferencias especializados. Nuevos esquemas han aparecido en la práctica industrial mostrando mejoras en dependencia de la economía pero debido a sus propias características, no existe una solución óptima hay diferentes mejoras alternativas en dependencia de los objetivos pro-

puestos. No tratamos de definir las diferentes alternativas, pero partiendo de un tratamiento especial en la formulación del problema se muestran los resultados técnicos de un conjunto de alternativas dadas, entre las cuales las dos siguientes se pueden considerar como extremas:

- Máximo bagazo sobrante sin energía eléctrica marginal.
- Máxima energía eléctrica marginal sin bagazo sobrante.

Se debe señalar que ambas soluciones muestran altas eficiencias térmicas y las diferencias son dadas por los objetivos buscados en cada caso. En el primero la obtención de bagazo como materia prima para otras industrias y en la segunda, la generación de energía eléctrica para la red nacional o regional, o para otros propósitos especiales.

Entre estos dos puntos extremos existe un número infinito de alternativas de acuerdo con el peso relativo dado al bagazo sobrante o la energía marginal. Sin embargo entre estos dos hay uno que puede ser considerado como una tercera solución principal, es decir, la generación de energía eléctrica por incremento de la presión y la temperatura de vapor de alta hasta aquellos valores técnicamente seguros, pero usando turbogeneradores de contrapresión, lo cual significa, generar solamente la cantidad de vapor requerida en el proceso o en otras palabras, no quemar bagazo para generar exceso de vapor sobre el requerido en el proceso y que en consecuencia debe ser condensado, lo que requiere turbogeneradores de extracción-condensación en vez de máquinas de contrapresión. Esto es la llamada co-generación en su más pura concepción.

Los resultados industriales de cualquiera de estas tres principales alternativas o cualquier otra que pueda surgir entre ellas, vienen dados por medio de un conjunto de factores entre los cuales los más importantes son: las variedades de caña, estabilidad y disciplina de operación y condiciones técnicas del equipamiento. Para los propósitos de este trabajo, los factores mencionados anteriormente pueden ser pasados por alto; asumiendo que los tres son resuel-

tos adecuadamente y podemos en consecuencia concentrarnos en los principales aspectos de la eficiencia térmica que controlan los resultados de cualquier solución. Estos son:

- Eficiencia de generación de vapor
- Eficiencia en el uso de vapor de proceso
- Presión y temperatura del vapor de alta.

Estos tres aspectos están interrelacionados entre sí y su relativa importancia y adecuados niveles están dados por los objetivos principales demandados por el esquema energético del sistema y su adecuación técnica y/o económica.

La forma de alcanzar diferentes resultados en cada uno de los aspectos mencionados anteriormente, es conocida por ingenieros y administradores de la industria relacionados con el problema de la energía en la producción de azúcar.

Las principales características de cada uno son:

### **EFICIENCIA DE GENERACION DE VAPOR**

La eficiencia de la caldera muestra la mayor reserva de energía en fábricas tradicionales de azúcar. En la mayoría de las fábricas viejas, a las calderas no se les suministraron los elementos para la recuperación del calor sensible de los gases de chimenea, como son el economizador o el precalentador de aire, encontrándose temperaturas del orden de 300°C (572°F) y aún mayores con las consecuentes pérdidas que implican tales diseños. Otro elemento importante asociado a la eficiencia de la caldera, es el tipo de horno. Los hornos que queman bagazo en una pila como el holandés, Ward. Martin, etc., requieren de una gran cantidad de exceso de aire sobre el teórico, hasta un 100% y más. Los hornos con lanzadores de bagazo, introducidos hace 30 años requieren sólo un 30% del exceso de aire, lo que reduce en consecuencia las pérdidas de energía por la calefacción del aire en exceso desde la temperatura ambiente hasta la de los gases de chimenea.

Las calderas viejas o nuevas que no disponen de estos componentes muestran eficiencias del orden de 55-65% sobre la base del valor calórico bajo.

La utilización del economizador y/o del precalentador de aire, o del recientemente introducido secador de bagazo permiten una disminución segura (sin peligro de corrosión) de la temperatura de los gases de chimenea hasta un mínimo de 130°C(266°F).

Esto, más la utilización de los hornos lanzadores de bagazo hace que las eficiencias de caldera se incrementen hasta un 85%, significando este aspecto en total una reducción del consumo de bagazo del orden del 30%.

#### **EFICIENCIA EN LA UTILIZACION DEL VAPOR DEL PROCESO**

Las fábricas viejas y aún en muchos casos las nuevas, muestran una eficiencia muy baja, utilizando entre 550 y 650 kg de vapor/tm de caña. Durante muchos años las fábricas de azúcar de remolacha, con parámetros de proceso próximos a los de azúcar de caña, han probado en la práctica a través de esquemas más sofisticados en el sistema de calefacción-evaporación-cocción, que el vapor de proceso puede ser reducido hasta 320 kg/tm de remolacha. La utilización de extracciones del evaporador para calefacción y cocción, el uso de un alto número de efectos, cinco y aún seis, lo cual hoy se puede probar que es económico y eventualmente la sustitución de la válvula reductora por otros elementos estabilizadores como el "vapor cell", el termocompresor, son elementos que permiten el incremento de la eficiencia.

Esto ya ha sido probado en el procedimiento del azúcar de caña donde se han obtenido valores del orden de 370 kg de vapor/tm de caña.

Esta reducción en el vapor de proceso puede inducir a reducciones en el consumo de bagazo del orden del 25%.

#### **PRESION Y TEMPERATURA DEL VAPOR DE ALTA**

La generación de una tm de vapor a alta presión y temperatura, 85 kg/cm<sup>2</sup> (1 250 lb/pulg<sup>2</sup>) y 400°C (750°F) por ejemplo, requiere de la misma cantidad de combustible (bagazo) que la generación de una

tonelada de vapor a 9,5 kg/cm<sup>2</sup> (140 lb/pulg<sup>2</sup>) y 327°C (620°F). El vapor con las "altas" condiciones mencionadas antes, puede generar 130 KW-h, y con las condiciones "bajas" puede generar solamente 57 KW-h, es decir, se duplica la generación de energía con el mismo bagazo quemado en la caldera, debido sólo al incremento de condiciones de presión y temperatura del vapor.

El ejemplo anterior es un argumento suficiente de lo que se puede obtener en energía eléctrica marginal, yendo a condiciones altas en el vapor vivo o de alta.

Los tres aspectos descritos anteriormente conforman el marco a través del cual la eficiencia térmica de las fábricas de azúcar puede ser incrementada para entregar bagazo sobrante y energía eléctrica marginal. Los pasos dados hacia el logro de estos objetivos puede que no sean de fácil ejecución o aún pueden resultar de dudosa factibilidad en algunos casos. El obstáculo principal en el camino hacia este incremento de eficiencia, es que la industria de azúcar de caña alcanzó un estado de equilibrio en su desarrollo técnico hace más de 40 años y los cambios que son necesarios hoy en día, no son aceptados fácilmente por ésta.

Para estudiar las tres alternativas mostradas anteriormente, se prepararon muchos diagramas de flujo y los balances de materiales y energía se calcularon con la ayuda de una computadora. De acuerdo con los resultados, se prepararon los números finales más interesantes que se presentan de manera gráfica en las diferentes alternativas.

#### **BAGAZO SOBRANTE**

Debido a los precios actuales de los combustibles fósiles, la política de su utilización en la fábrica de azúcar para liberar el bagazo y utilizarlo como materia prima para otras industrias puede inducir a altos costos en los productos finales, volviéndose no rentables en muchos casos. Resulta fácil demostrar que, en general, es más económico remodelar la fábrica de azúcar para obtener tanto bagazo sobrante como



sea posible, esperándose en general el desarrollo de un mercado de bagazo. Hoy en día, la transportación de bagazo en pacas o en otra forma compacta como "pellets", briquetas, etc., ha probado su factibilidad técnica y económica.

En la figura N° 1 hay líneas que muestran el bagazo sobrante que puede ser obtenido, como una función del vapor de proceso en la fábrica, para diferentes eficiencias de caldera. Se puede ver que si tenemos una situación según la cual estamos gastando 53 kg de vapor de calefacción por 100 kg de caña, un índice típico en las fábricas cubanas viejas, y la eficiencia de las calderas es de 58% no se produce bagazo sobrante. Esta es la situación actual en la mayoría de las fábricas cubanas. Ahora bien, si incrementamos la eficiencia de las calderas hasta 78% y no hacemos ningún otro cambio en el ciclo de vapor, el resultado inmediato es que obtenemos aproximadamente el 27% de bagazo sobrante.

En la figura N° 1 podemos darnos cuenta de la influencia de la eficiencia del consumo de vapor de escape como medio de calefacción. Si disminuimos este índice de los valores usuales de las fábricas cubanas, es decir 53% hasta 40% y tenemos calderas con 78% de eficiencias, el bagazo sobrante se incrementa de 27% hasta 43%.

En lo que respecta a la reducción del índice de vapor de calefacción por cantidad de caña procesada, es necesario analizar el ciclo completo ya que el vapor pasa a través de los motores primarios al proceso como agente calefactor, entregando toda la energía mecánica requerida en la fábrica, así cuando se mejora la eficiencia de utilización del vapor en proceso, se hace necesario incrementar las condiciones de generación del vapor en las calderas para garantizar la satisfacción de las demandas de energía en la fábrica.

En la mitad inferior de la figura N° 1 hay líneas que muestran la dependencia de la temperatura y la presión del vapor de alta presión cuando es generado, con las diferentes demandas de vapor de calefacción. En esta figura se puede notar que, para un índice de

53 kg de vapor por 100 kg de caña, común en las fábricas cubanas tradicionales, la presión necesaria en la entrada de las máquinas es del orden de 8,0 kg/cm<sup>2</sup> (120 lb/pulg<sup>2</sup>) y la temperatura es próxima a la de saturación.

## CO - GENERACION

Entre los enfoques de máximo bagazo sobrante y máxima energía eléctrica marginal, existe la alternativa de co-generación pura, es decir, generación eléctrica a valores máximos, pero solamente la que es posible con el vapor de proceso, es decir, no quemando bagazo para producir vapor adicional lo que implicaría turbogeneradores de extracción-condensación. Este objetivo se logra incrementando la presión y la temperatura del vapor de alta al máximo permitido por las condiciones técnico-económicas.

En la figura N° 2 se muestran, de forma gráfica los cálculos para cuatro condiciones típicas del vapor en la industria azucarera mundial.

Los valores de la energía eléctrica representados, son aquellos obtenidos después de la substracción de la demanda de la fábrica. Un ejemplo ayuda a entender esta alternativa.

Con una demanda de vapor de proceso de 400 kg/tm, es decir, vapor de calefacción igual a 40% de caña, trabajando a 18 kg/cm<sup>2</sup> y 343°C, un 39% del total de bagazo producido se puede obtener como sobrante. Adicionalmente se puede obtener también 8 KW-h/t de caña como energía marginal. Si las condiciones del vapor de alta son aumentadas a 58,8 kg/cm<sup>2</sup> (850 lb/pulg<sup>2</sup>) y 454°C (850°F) con la misma demanda de vapor de proceso que antes, el bagazo sobrante obtenido es del orden del 35% del producido y la entrega de energía 29,5 KW-h/t de caña. Los 21,5 KW-h adicionales por t de caña se producen con un incremento del bagazo quemado de alrededor de 12 kg o 2,2 kg de petróleo equivalente, lo cual representa alrededor de 106 g/KW-h, un valor mucho menor que el mejor obtenido en plantas de energía de petróleo (220-240 g de petróleo/KW-h).

La co-generación es una forma eficiente de producir energía eléctrica y al mismo tiempo, permite la entrega de importantes cantidades de bagazo para usarse como materia prima en otras industrias.

En la figura N° 2, se muestran muchas combinaciones. Se puede notar que a medida que el interés en la energía eléctrica aumenta, los requerimientos de eficiencia en el uso de vapor de proceso serán menores.

También se puede notar la gran influencia directa de las condiciones de presión y temperatura del vapor sobre la energía eléctrica marginal, determinándose el óptimo por consideraciones operacionales y de inversión. También se observa la baja incidencia inversa de las condiciones de presión y temperatura del vapor sobre el bagazo sobrante.

Una observación final interesante es que moviéndonos hacia la derecha a lo largo de la línea de cero bagazo sobrante hasta las líneas para diferentes condiciones del vapor, los puntos de intersección con éstas representan la máxima energía eléctrica marginal que puede ser entregada sin usar turbogeneradores de extracción-condensación.

### **ENERGIA ELECTRICA MARGINAL**

El caso de energía eléctrica marginal, es aquél en el cual no se obtiene bagazo sobrante. La cuestión principal en este caso es reducir el vapor de calefacción % de caña tanto como sea posible, de manera que todo el bagazo que se pudiera obtener como sobrante, sea quemado para producir vapor adicional por encima del que se necesita para calefacción, y consecuentemente expandirlo al vacío en turbogeneradores de condensación.

Los cálculos de la energía marginal para cuatro niveles de condiciones del vapor se muestran de forma gráfica en la figura 3. Las líneas que ascienden hacia la derecha muestran la energía marginal generada con vapor de proceso y las líneas que descienden muestran la energía marginal total que se genera.

Ambas líneas de cada condición de vapor se cortan donde el vapor de calefacción % de caña es el total que se puede generar con el bagazo producido.

Tomando como ejemplo el mismo caso que vimos en la alternativa de la co-generación con 58,8 kg/cm<sup>2</sup> y 454°C, se pueden producir 29,5 KW-h/t de caña, debido a la co-generación y 76,5 KW-h/t de caña si se quema el total del bagazo producido. La generación adicional de energía se hace con el 35% del bagazo sobrante que obtendríamos con co-generación pura.

Esto significa que estos 47 KW-h/t de caña adicionales se producen según un consumo de petróleo equivalente a 440 g/KW-h, cerca de 60% mayor que en modernas y eficientes plantas de energía operadas con petróleo.

El análisis económico de esta alternativa depende en gran medida de los criterios macro-económicos de forma que no es necesario ir más allá en nuestro análisis.

### **PASOS DADOS Y SITUACION ACTUAL DEL PROGRAMA DE COOPERACION ENERGETICA DE LOS PAISES MIEMBROS DE GEPLACEA**

El Programa de Cooperación Energética de la Caña de Azúcar tuvo sus orígenes a partir de las conclusiones del Seminario de Racionalización Energética, celebrado en La Habana en octubre de 1980. En este evento auspiciado por GEPLACEA, ONUDI, OLADE y el Ministerio de la Industria Azucarera de Cuba, se planteó la necesidad de crear un Centro de Investigaciones Aplicadas, que permitiera conocer y desarrollar integralmente el potencial energético de la caña de azúcar.

Dada la importancia de los temas tratados durante el Seminario, el Secretariado de GEPLACEA determinó la realización de un estudio donde se plasmaran las posibilidades y la trascendencia que revestiría la transformación energética de las fábricas de azúcar. El referido documento conocido como "La Caña de Azúcar como Fuente de Energía", fue el-

borado por especialistas del ICINAZ de Cuba; la Corporación Azucarera "La Victoria", de Panamá y de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Entre los acuerdos tomados en la Plenaria se dispuso la celebración de una reunión de especialistas de alto nivel con el fin de analizar las posibilidades de desarrollar un Programa Regional de Cooperación Energética. Dicha reunión se celebró en la Ciudad de México entre el 28 y el 30 de julio de 1981, contando con la asistencia de representantes de Brasil, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guyana, México, Panamá, República Dominicana, y de los Organismos ONUDI, OLADE, IICA, y del Secretariado de GEPLACEA.

La primera reunión de la Comisión fue celebrada en La Habana durante los días 28, 29 y 30 de enero de 1982, con la asistencia de todos sus miembros, exceptuando a Brasil. En este primer encuentro se analizaron las actividades a realizar en cada país.

El Secretariado ha desplegado grandes esfuerzos en la búsqueda de vías más dinámicas para el avance del proyecto, aunque hasta el momento sólo están definidas, dentro del cúmulo de tareas, las fechas de los Seminarios de Biogás y Alcohol Carburante.

Es de destacar la colaboración de OLADE hacia todas las tareas emanadas del programa; desde el primer momento se han mantenido estrechos vínculos entre GEPLACEA Y OLADE, citándose ejemplos concretos como es el caso del gran apoyo financiero que, a través del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE) de OLADE, se ha logrado para la celebración de los Seminarios de Biogás y Alcohol Carburante y en la ejecución del Proyecto de Racionalización Energética en República Dominicana.

## CONCLUSIONES

En este trabajo tres alternativas principales de utilización de las reservas de energía de la industria azucarera han sido analizadas.

Estas alternativas pueden ser orientadas al desarrollo de las industrias de la celulosa, usando bagazo

como materia prima o contribuir al suministro de energía a la red eléctrica. En ambos casos el aumento en la eficiencia puede inducir a importantes contribuciones a la economía nacional en países como Cuba, República Dominicana y otros países o regiones donde la producción de azúcar per cápita es significativa.

El objetivo del bagazo sobrante puede ser logrado sin calderas de alta presión, mediante el mejoramiento en la eficiencia de calderas y la eficiencia del uso del vapor de proceso. Las inversiones necesarias son altamente rentables y de bajo requerimiento financiero.

La co-generación muestra la forma más económica de generar energía marginal para otros usos o para la red eléctrica a la vez que se entregan cantidades importantes de bagazo sobrante. Se puede considerar la mejor solución económica cuando está bajo consideración el desarrollo de una industria de derivados en una región con cosechas azucareras largas y con una alta concentración de fábricas. La energía eléctrica se produce en la forma más eficiente con un mínimo de inversiones a la vez que se produce bagazo para cubrir todos los requerimientos de la región. El balance se logra mediante un adecuado análisis del caso particular que se estudia.

La generación de energía eléctrica marginal usando turbinas de extracción-condensación depende de los criterios de la macro-economía concernientes al valor relativo dado al bagazo como materia prima para la industria o como combustible para ahorrar grandes reservas de petróleo como México y Venezuela y donde los precios internos del petróleo son bajos, esta alternativa no es atractiva ya que no compete con el "fuel oil", pero en países donde prevalecen los actuales precios altos del crudo se ha mostrado que esta solución es económica.



borado por especialistas del ICINAZ de Cuba, la Corporación Azucarera "La Victoria", de Panamá y de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Entre los acuerdos tomados en la Plenaria se dispuso la celebración de una reunión de especialistas de alto nivel con el fin de analizar las posibilidades de desarrollar un Programa Regional de Cooperación Energética. Dicha reunión se celebró en la Ciudad de México entre el 28 y el 30 de julio de 1981, contando con la asistencia de representantes de Brasil, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guyana, México, Panamá, República Dominicana, y de los Organismos ONUDI, OLADE, IICA, y del Secretariado de GEPLACEA.

La primera reunión de la Comisión fue celebrada en La Habana durante los días 28, 29 y 30 de enero de 1982, con la asistencia de todos sus miembros, exceptuando a Brasil. En este primer encuentro se analizaron las actividades a realizar en cada país.

El Secretariado ha desplegado grandes esfuerzos en la búsqueda de vías más dinámicas para el avance del proyecto, aunque hasta el momento sólo están definidas, dentro del cúmulo de tareas, las fechas de los Seminarios de Biogás y Alcohol Carburante.

Es de destacar la colaboración de OLADE hacia todas las tareas emanadas del programa; desde el primer momento se han mantenido estrechos vínculos entre GEPLACEA Y OLADE, citándose ejemplos concretos como es el caso del gran apoyo financiero que, a través del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE) de OLADE, se ha logrado para la celebración de los Seminarios de Biogás y Alcohol Carburante y en la ejecución del Proyecto de Racionalización Energética en República Dominicana.

## CONCLUSIONES

En este trabajo tres alternativas principales de utilización de las reservas de energía de la industria azucarera han sido analizadas.

Estas alternativas pueden ser orientadas al desarrollo de las industrias de la celulosa, usando bagazo

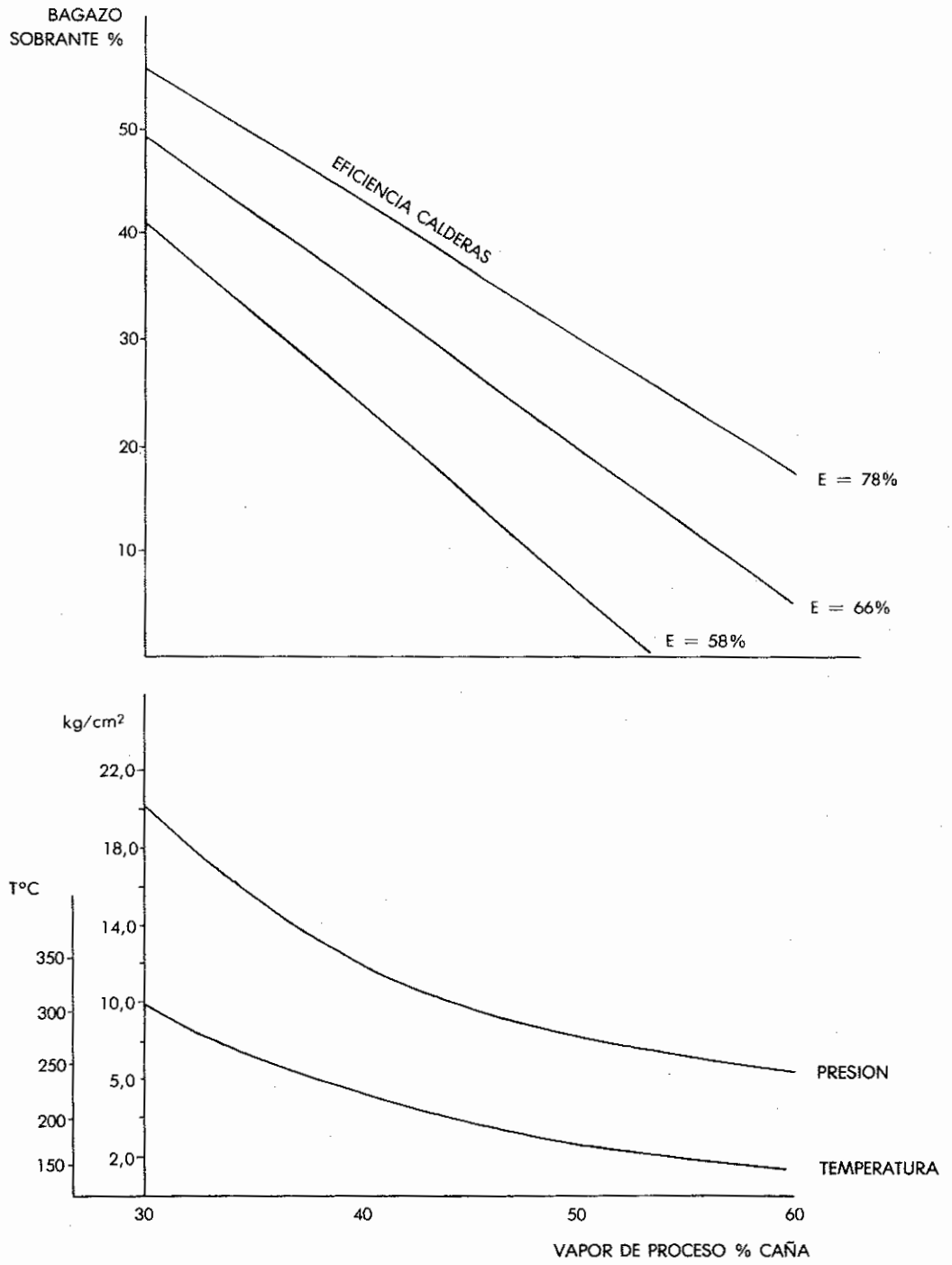
como materia prima o contribuir al suministro de energía a la red eléctrica. En ambos casos el aumento en la eficiencia puede inducir a importantes contribuciones a la economía nacional en países como Cuba, República Dominicana y otros países o regiones donde la producción de azúcar per cápita es significativa.

El objetivo del bagazo sobrante puede ser logrado sin calderas de alta presión, mediante el mejoramiento en la eficiencia de calderas y la eficiencia del uso del vapor de proceso. Las inversiones necesarias son altamente rentables y de bajo requerimiento financiero.

La co-generación muestra la forma más económica de generar energía marginal para otros usos o para la red eléctrica a la vez que se entregan cantidades importantes de bagazo sobrante. Se puede considerar la mejor solución económica cuando está bajo consideración el desarrollo de una industria de derivados en una región con cosechas azucareras largas y con una alta concentración de fábricas. La energía eléctrica se produce en la forma más eficiente con un mínimo de inversiones a la vez que se produce bagazo para cubrir todos los requerimientos de la región. El balance se logra mediante un adecuado análisis del caso particular que se estudia.

La generación de energía eléctrica marginal usando turbinas de extracción-condensación depende de los criterios de la macro-economía concernientes al valor relativo dado al bagazo como materia prima para la industria o como combustible para ahorrar petróleo. En los países que tienen a su disposición grandes reservas de petróleo como México y Venezuela y donde los precios internos del petróleo son bajos, esta alternativa no es atractiva ya que no compete con el "fuel oil", pero en países donde prevalecen los actuales precios altos del crudo se ha mostrado que esta solución es económica.

FIG. N° 1 BAGAZO SOBRANTE



**FIG. N° 2 CO-GENERACION**

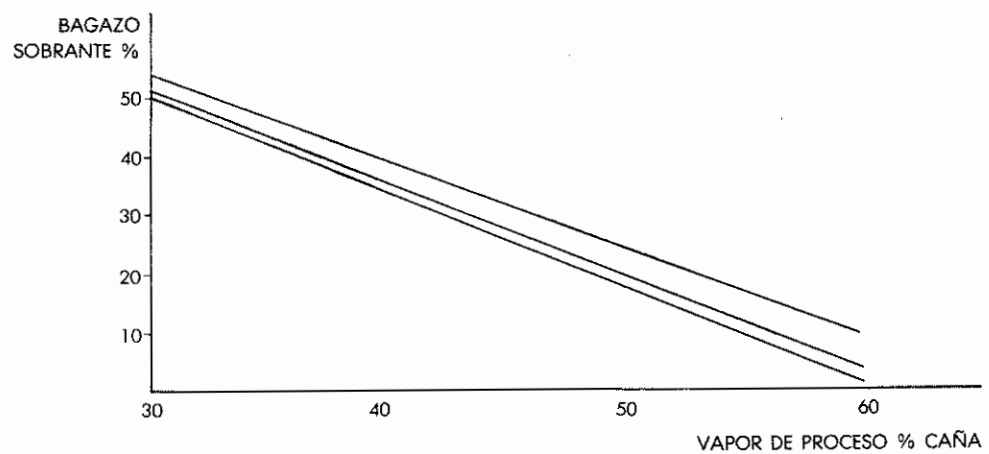
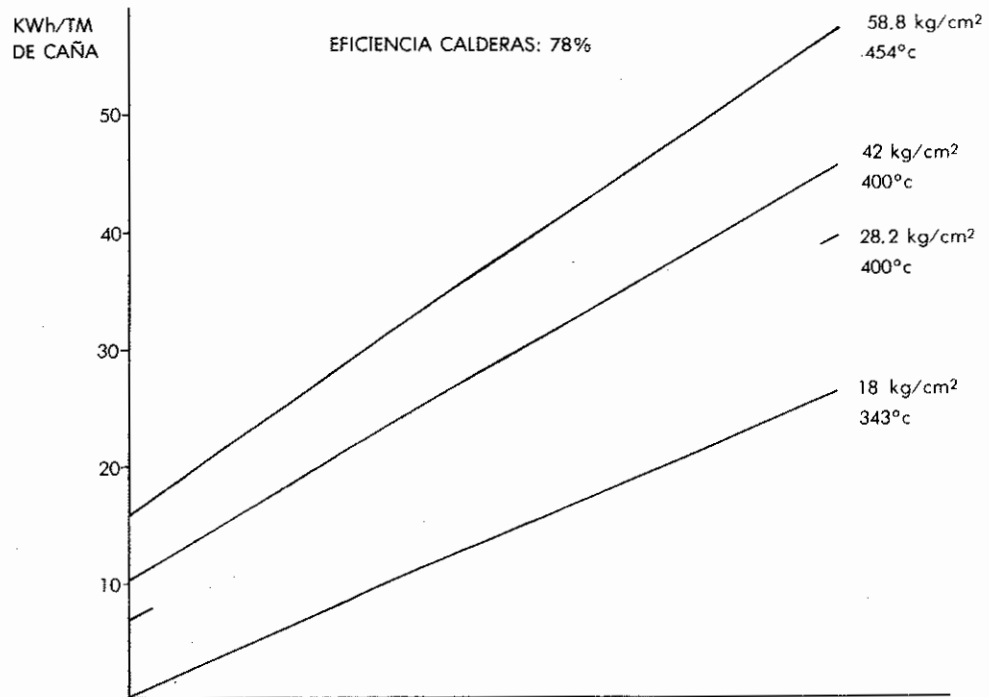
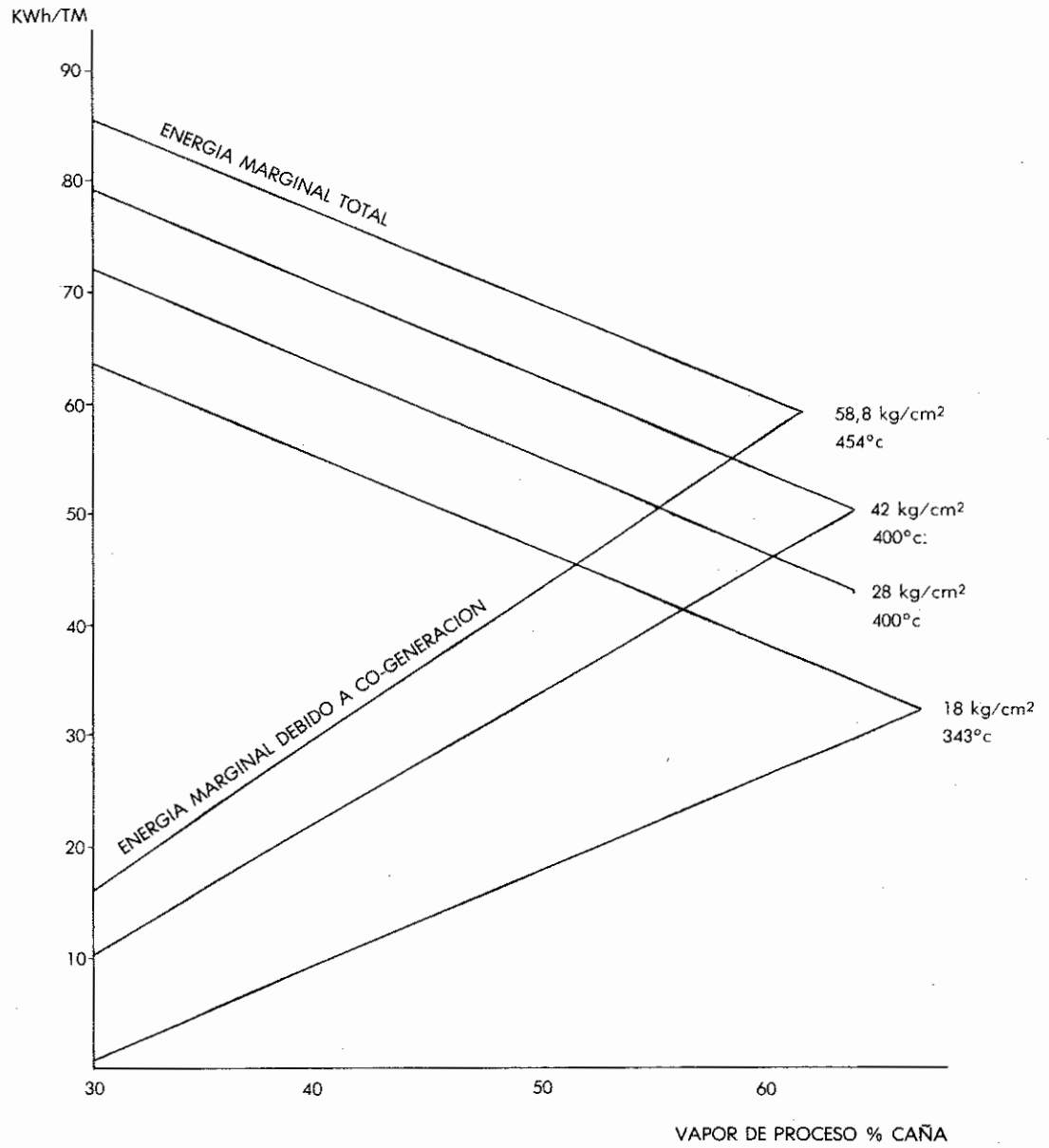


FIG. Nº 3 ENERGIA ELECTRICA MARGINAL



# RATIONAL USE OF ENERGY IN THE SUGAR INDUSTRY: THE CUBAN EXPERIENCE

**Luis O. Galvez Taupier**

VICE MINISTER, CUBAN SUGAR INDUSTRY

## INTRODUCTION

Solar energy is one of the major energy reserves available for Man, now on the threshold of the total depletion of fossil fuels, which had been utilized as the main energy source since he learned to use fire. However, by nature, it is not constant during the 24 hours of each day; it varies as a function of climatic conditions, and the ways in which it is received and transformed into useful forms has limited its use. The different ways of using solar energy may follow either of two approaches: one, which concentrates solar radiation by optical means to reach high-enough temperatures and quantities of energy; and one which takes advantage of the potential of solar energy to synthesize biomass through the metabolism of plants which, in turn, are used as fuels, in different ways.

Today many studies are being carried out to show the possibilities of different energy crops like sorghum, sugar cane, wood, etc. In this seminar we are concerned with the possibilities of sugar cane, which, even though it falls far short of fulfilling our total energy requirements, may make important contributions to the energy balance of our countries. The dry matter in sugar cane, when burned, frees 4,000 kcal per kg (7,200 BTU's per pound). On the basis of maximum agricultural yields, up to 200 million kcal can be obtained per hectare per year, equivalent to about 20 metric tons of oil. However, after analyzing the thermal efficiency of cane sugar processing, including steam generation, we reach the conclusion that a first step in the utilization of sugar cane as an energy

source is to take advantage of the reserves we have in our sugar factories. To demonstrate the potential of sugar cane processing is the aim of this paper.

The energy pattern of most sugar factories shows technical approaches dating from the beginning of this century. The Corliss engine had been defined as the best prime mover for cane mills, the main consumer of mechanical energy in the factory. Other types of steam engines were used for other purposes such as pumping, driving centrifuges and crystallizers, and even generating electric power, though for this purpose the use of the steam turbine became standard practice many years ago.

The design pressure and temperature of steam were those which resulted adequate for Corliss engines and for other alternative steam machines, i.e., with pressure in the range of 8 to 10 kg/cm<sup>2</sup> (120 to 150 pounds per square inch), with no overheating. Most of the existing cane sugar factories were designed with such thermodynamic steam conditions, allowing a good balance between requirements of high-pressure steam for prime movers and low-pressure steam for heating; no fuel was necessary other than the bagasse obtained from the cane.

During the last quarter of a century, many industries using bagasse as their main raw material had been established on the basis of the fact that the bagasse from the boilers of the sugar factory could be substituted by fossil fuel. However, with the outbreak of the energy crisis in 1973, the prices of fossil fuels, especially that of fuel oil, have increased very much,



inducing a rise also in the price of bagasse. In order to tackle this problem, many enterprises started to improve sugar factory efficiency following more or less the experiences of the beet sugar industry, which never had waste to burn and which, even during the periods of low fossil fuel prices had to look for thermally-efficient means of processing. Afterwards, following an analysis aimed at efficient flow sheets, the specialists on this subject have found that not only can the cane sugar industry deliver surplus bagasse, but also that by taking advantage of co-generation, it may be capable of delivering important quantities of electric power.

At present, outstanding engineering and design groups have a new concept of energy patterns for sugar factories, following new approaches oriented toward much more efficient solutions. A highly controversial point which has been raised is that of the pressure and temperature of live steam, since more efficient cycles for co-generation require inexcusably high values for these parameters. Further, during the last 30 years, technological developments in the engineering aspects of the sugar mill have broadened the horizons for solutions when handling this question of the high pressure and temperature of live steam. Examples of these developments are the use of steam turbines and modern electric drives in crushing mills; the use of extraction-condensing turbogenerator sets; and the development of high-pressure bagasse boilers.

Generating steam at high pressure and temperature and using efficiently the process steam makes it possible for the sugar factory, after meeting its energy requirements, to be in a position to deliver up to 25 kg of oil equivalent per metric ton of cane ground, in the form of surplus bagasse and/or electricity, that is half as much as that available in the bagasse.

It also becomes interesting to take into account the wastes of the crop which in most cases are lost or burned in the field. If somehow the wastes are brought into the balance, the potential for delivering energy is multiplied three-fold, since the content of dry wastes is twice as high as that of the bagasse. All in all, the cane sugar industry in GEPLACEA countries shows a potential savings of 22 million tons of oil.

## **ENERGY AND BAGASSE SAVINGS: SOME ALTERNATIVES**

As can be inferred from the introduction, the improvements in the thermal efficiency of a sugar factory may be oriented so as to achieve surplus bagasse, surplus electric power, or a combination of the two. The selection of a concrete scheme will be strongly linked to economic and/or social objectives, such as to the growth of a sugar cane derivatives industry (especially one consuming bagasse) and to national energy policy.

The main aspects associated with the energy patterns of sugar factories and their improvements have been dealt with in specialized papers, seminars and conferences on sugar. New patterns have appeared in industrial practice, showing better efficiencies in terms of economy; but due to the features in question, no optimal solution exists. There are various sound solution alternatives, depending on the objectives sought. We will not attempt to define the different alternatives; but starting from a special formulation of the problem, we will show the technical results of a set of given alternatives, among which the following may be considered extreme:

- maximum surplus bagasse, without surplus electric power
- maximum surplus electric power, without surplus bagasse.

It must be pointed out that both of these extreme solutions show high thermal efficiency; the difference lies in the objectives sought in each case: in the first one, bagasse as raw material for other industries; and in the second one, generation of electric power for the national or regional grid, or for other special purposes.

Between these two extremes there exist an infinite number of alternatives, according to the relative weight given to surplus bagasse or surplus power. However, between these two, there is one which may be considered as the third main solution, that is, the generation of electric power by increasing the pressure and temperature of live steam up to technically-safe

The other important element associated with boiler efficiency is the type of furnace. Furnaces burning bagasse in a pile, as do the Dutch, Ward, Martin, etc., require a large amount of excess air over the theoretical figure, up to 100% and more. Furnaces with spreader stokers, introduced 30 years ago, require only a 30% air surplus, thus reducing the energy lost by heating the excess air from ambient temperature to that of the stack gases. Old or new boilers without these gadgets show efficiencies based on the low heating value of bagasse, on the order of 55-65%.

The utilization of economizers and/or air preheaters, or the recently-introduced bagasse dryer, allows a safe reduction in stack gases (with no danger of corrosion), down to a minimum of 130°C (266°F). This, plus the utilization of spreader stoker furnaces makes boiler efficiencies increase to 85%; this aspect alone means a reduction in bagasse consumption on the order of 30%.

#### EFFICIENCY IN THE USE OF PROCESS STEAM

Old factories and, in many cases, new factories show a very low efficiency, investing between 550 and 650 kg of steam per metric ton of cane.

For many years, beet sugar factories, whose process parameters closely resemble those of cane sugar factories, have proven in practice (through more sophisticated schemes for the heating-evaporation-boiling system) that process steam can be reduced to 320 kg per metric ton of beet. Use of vapor bleeding in evaporators, for heating and boiling; the use of a high number of effects, five and even six today to prove economical; and sometimes the replacement of the throttle valve by other balancing elements such as vapor-cells or thermocompressors--these are elements which permit increased efficiency. This has already been proven in cane sugar processing, yielding practical values as low as 370 kg of steam per metric ton of cane. This reduction in process steam may lead to a reduction in bagasse consumption on the order of 25%.

figures while using back-pressure turbogenerator sets, which means that only the quantity of steam required in process will be generated--or, in other words, bagasse will not be burned to generate excess steam, over and above that required in process. Consequently, it should be condensed and this requires extraction-condensing turbosets instead of back-pressure sets. This is the so-called co-generation in its undiluted sense.

The industrial results of any one of these three main alternatives, or any other which may arise in that range, are given by a set of factors, among which the most important are: cane varieties, operational stability and discipline, and technical conditions of the equipment. For the purposes of this paper, the above factors may be passed over, assuming that the three have been solved adequately. Thus, we can concentrate on the main aspects of thermal efficiency, which control the results of any solution:

- efficiency of steam generation;
- efficiency in the use of process steam;
- pressure and temperature of live steam.

These three aspects are inter-related, and their relative importance and suitable levels are given by the main goals required by the energy pattern of the system and its technical and/or economic adequacy.

The ways to attain different results in each one of the above-mentioned aspects are known by industrial engineers and managers acquainted with the problem of energy in sugar production. The main features of each one are as follows:

#### EFFICIENCY OF STEAM GENERATION

Boiler efficiency accounts for the biggest energy reserve in traditional sugar factories. In most of the old factories which still exist, boilers were supplied without elements for recovering sensible heat from flue gases (such as economizers or air heaters showing temperatures on the order of 300°C (572°F) and even higher, with the consequent losses involved in such designs.

## PRESSURE AND TEMPERATURE OF LIVE STEAM

The generation of one metric ton of steam at high pressure and temperature (85 kg/cm<sup>2</sup> (1,250 lb/in<sup>2</sup>) and 400° C (750°F), for example) requires the same quantity of fuel (bagasse) as the generation of one ton of steam at 9.5 kg/cm<sup>2</sup> (140 lb/in<sup>2</sup>) and 327° C (620° F). Steam with the above "high" conditions may generate about 130 KWh, while the "low" conditions may generate only 57 KWh; thus, with the same bagasse burned in the boiler, the amount of power generated can be more than doubled merely by raising the pressure and temperature of the steam.

The above example is enough of an argument for the electric power that can be obtained by going to high conditions of live steam.

The three aspects described above form the framework through which the thermal efficiency of sugar factories may be increased for delivering surplus bagasse and power. The steps taken toward achieving this goal may not be easy to execute, and may even be of doubtful feasibility in some cases. The main obstacle in the path of such increases in efficiency is the fact that the cane sugar industry reached a plateau in its technical development more than forty years ago, and the changes that are now necessary are not easily accepted by the industry.

In order to study the three main alternatives outlined previously, many flowsheets were prepared, and material and energy balances calculated with the aid of a computer. With the results, the data for the different alternatives were graphed, as included herein.

## SURPLUS BAGASSE

Due to current fossil fuel prices, the policy of burning such fuels in a sugar factory, to free bagasse for use as raw material in other industries, may induce high costs for the end-products in these industries, which in many cases may become uneconomical. It is easy to show that, in general, it proves more economical to remodel the sugar factory in order to get as much surplus bagasse as possible. A bagasse

market can be expected to develop. Today, the transportation of bagasse in bales or in other compacted forms, such as pellets, cubes, etc., has proven to be technically and economically viable.

The upper half of Figure N° 1 depicts lines showing the surplus bagasse which may be obtained as a function of process steam in the factory for different boiler efficiencies. It can be seen that, if we have a situation where we are using 53 kg of heating steam per 100 kg of cane (a typical index in Cuba's old factories) and where boiler efficiency is 58%, no surplus bagasse is produced; this is the present situation in most Cuban factories. Now if we increase boiler efficiency up to 78% but we do not do anything else in the steam cycle, the immediate result is that we get about 27% of surplus bagasse.

In Figure N° 1 we can also see the influence of the efficiency of exhaust steam used as a heating medium. If we decrease this index from 53%, the usual value for Cuban factories, down to 40%, and if we have boilers with a 78% efficiency, surplus bagasse increases from 27% to 43%.

As far as reductions in the index of heating steam per cane processed are concerned, it is necessary to analyze the whole cycle since steam goes through the prime movers to the process as the heating medium, and when coming through the machines, it delivers the total mechanical (electrical) energy required in the factory. Thus, when improving the efficiency of steam use in process, it becomes necessary to increase the steam conditions as generated in the boiler, in order to guarantee satisfaction of mechanical energy demands in the factory.

The lower half of Figure N° 1 depicts lines showing the dependence of the temperature and pressure of high-pressure steam as generated, for different steam-heating demands. In this figure it can be seen that at the normal index of 53 kg of steam per 100 kg of cane, common in Cuba's old factories, the pressure required at the entrance of the machines is on the order of 8.0 kg/cm<sup>2</sup> (120 lb/in<sup>2</sup>) and temperature is close to that corresponding to saturation.





## CO-GENERATION

Between the approaches of maximum surplus bagasse and maximum surplus electric power, there is the alternative of co-generation, pure and simple, that is, generation of electric power at the maximum value possible with process steam, without burning bagasse to produce additional steam over and above that required in process, for this would entail the use of extraction-condensing turbogenerator sets. This goal can be achieved by increasing the pressure and temperature of live steam to the maximum allowed by techno-economical conditions.

In Figure N° 2 the computations for four typical conditions of steam in the world sugar industry have been graphed. The electric power values shown are those obtained after subtracting the demand of the factory. An example will aid in understanding this alternative.

With a demand of 400 kg of process steam per metric ton, that is, heating steam equal to 40% cane, under conditions of 18 kg/cm<sup>2</sup> and 343° C, 39% of the total bagasse produced can be obtained as surplus.

Additionally, 8 KWh per ton of cane be obtained as surplus power. If the live steam conditions are increased to 58.8 per cm<sup>2</sup> (850 psig) and 454° C (850° F) with the same process steam demand as before, the surplus bagasse obtained is on the order of 35% of that produced, and power delivery 29.5 KWh per ton of cane. The additional 21.5 KWh per ton of cane are produced from an increase in burned bagasse (about 12 kg or 2.2 kg of oil equivalent), which means about 106 g per KWh, a value much lower than the best obtained in oil-based thermo-electric plants (220-240 g oil per KWh).

Co-generation is an efficient way of producing electric power and, at the same time, it permits important quantities of bagasse for use as raw material in other industries.

In Figure N° 2 many combinations are shown. It can be seen that as the interest in electric power

increases, the efficiency requirements for the use of process steam will be lower. The large direct influence of the pressure and temperature of steam on surplus power can also be seen, with the optimum being determined by investment and operational considerations; and, inversely, there is a low influence of the pressure and temperature of steam on surplus bagasse.

One last worthwhile note is that when moving to the right along the line from zero surplus bagasse, up to the lines corresponding to different steam conditions, the points of intersection represent the maximum surplus electric power that can be delivered without using extraction-condensing turbogenerators.

## SURPLUS ELECTRIC POWER

The case of surplus electric power is that in which no surplus bagasse is obtained. The main question in this case is how to reduce the heating steam's percentage of cane as much as possible so that what could be obtained as surplus bagasse would be burned to produce excess steam over and above that required for heating-steam, which would then expand in condensing turbosets.

The calculation of surplus power for four levels of steam conditions are shown graphically in Figure N° 3. The lines coming up to the right show the surplus power generated.

Both lines of every steam condition are cut where the heating steam's percentage of cane is the total that can be generated with the bagasse produced.

Taking as an example the same case we saw in the co-generation alternative, it can be seen that at 58.8 kg/cm<sup>2</sup> and 454° C, 29.5 KWh per ton of cane can be produced by co-generation and 76.5 KWh per ton of cane if all the bagasse produced is burned. The additional power generation from the 35% surplus bagasse we should get with pure co-generation. It means that these additional 47 KWh per ton of cane are produced at a rate of oil equivalent of 440 g per KWh, about 60% higher than in modern, efficient oil-based plants.

The economic analysis of this alternative strongly depends on macro-economic criteria, so it is needless to delve any further into our analysis.

### **STEPS TAKEN AND THE CURRENT STATUS OF THE ENERGY COOPERATION PROGRAM AMONG GEPLACEA MEMBER COUNTRIES**

The Cooperation Program on Energy from Sugar Cane was the result of a seminar on Rational Use of Energy, held in Havana in October 1980. During this event, sponsored by GEPLACEA, UNIDO, OLADE and the Cuban Ministry of Sugar, the need to create a center of applied research was set forth. This center would study and develop, in an integrated way, the energy potential of sugar cane.

In view of the importance of the subjects dealt with during the seminar, the Secretariat of GEPLACEA decided to carry out a study on the possibilities and outlook for the transformation of energy in sugar factories. A document known as "Sugar Cane as an Energy Resource" was prepared by experts from ICINAZ, Cuba; "La Victoria" Sugar Corporation, Panama; and the Latin American Energy Organization (OLADE).

One of the resolutions adopted by the General Assembly was to convene a meeting of high-level experts, for the purpose of analyzing the possibilities of implementing a regional program of energy cooperation. This meeting was held in Mexico City during July 23-30, 1981, with the presence of representatives of Brazil, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guyana, Mexico, Panama, the Dominican Republic and the following organizations: UNIDO, OLADE, IICA, and GEPLACEA.

The first meeting of the Commission took place in Havana during January 28-30, 1982. All its members attended, except Brazil; and the delegates discussed the activities to be carried out in each country.

The Secretariat has made great efforts to find more dynamic ways to implement the project. Up to now, however, the only definitions arrived at, among a number of tasks, refer to the dates for seminars to be organized on Biogas and Fuel Alcohol. The seminar on Fuel Alcohol will be sponsored by GEPLACEA

OLADE, and Brazil's IAA. Its date has already been set, and a program of activities has been prepared.

The cooperation offered by OLADE at all times, in every activity emanating from the program, deserves special mention. From the first, a close relationship has existed between GEPLACEA and OLADE. One tangible example of this cooperation is the financial support received from OLADE, through the Latin American Energy Cooperation Program (PLACE), for the organization of seminars on Biogas and Fuel Alcohol and for the execution of the Project on Rational Use of Energy in the Dominican Republic.

### **CONCLUSIONS**

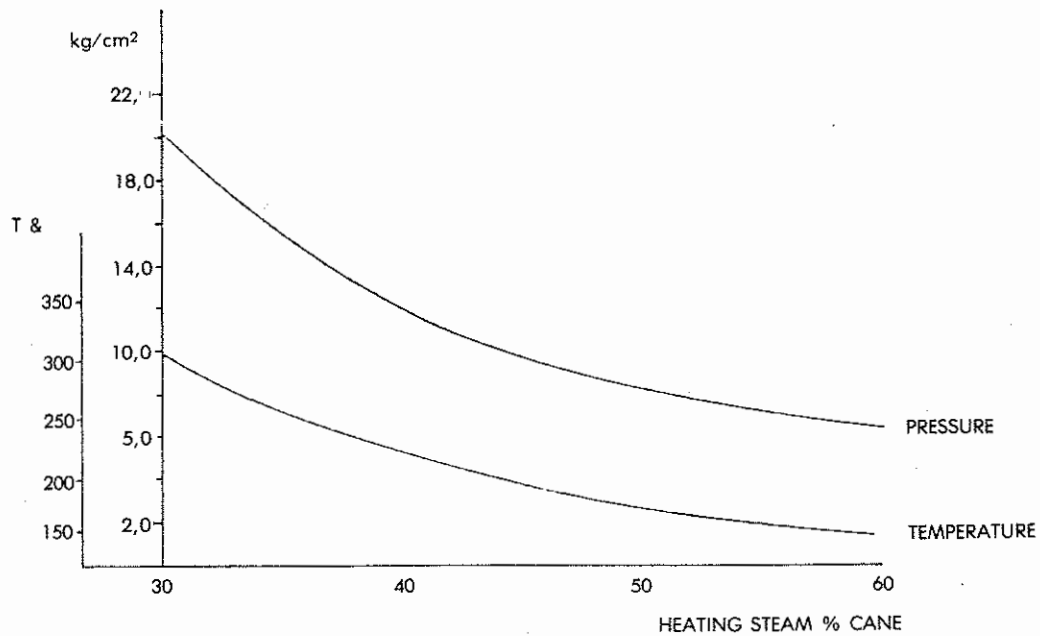
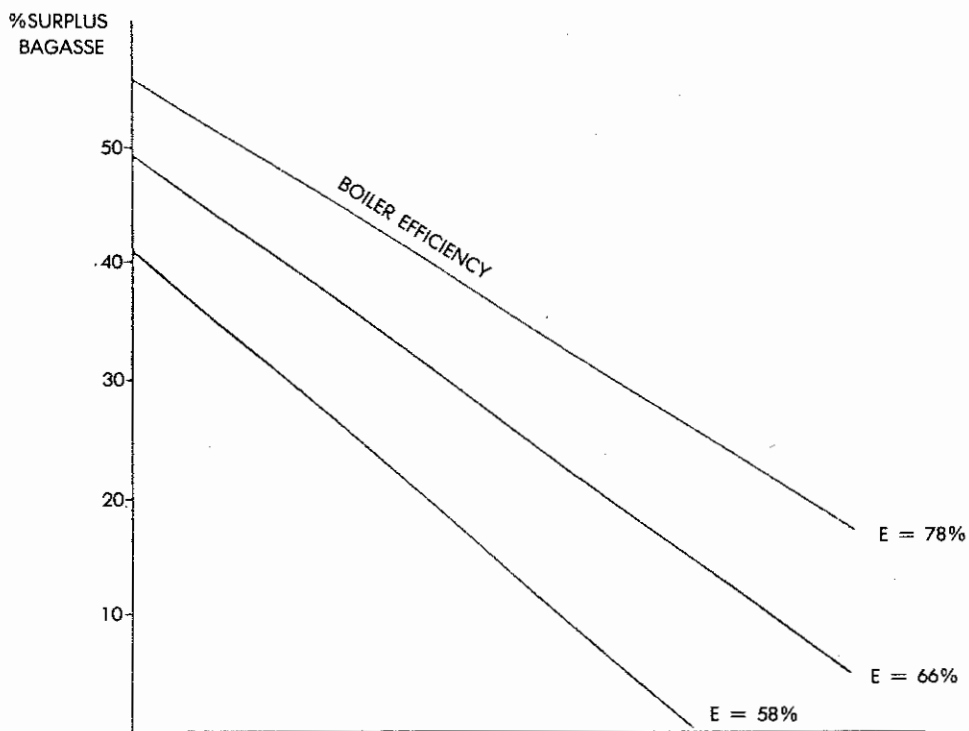
In this paper, three major alternative uses of energy reserves from the sugar industry have been analyzed. These alternatives may be oriented to the development of cellulosic pulp industries using bagasse as raw material or may contribute to the supply of power to the electric grid. In both cases the increase in efficiency may induce important contributions to the national economy in countries such as Cuba, the Dominican Republic, and other countries or regions where sugar production per capita is significant.

Co-generation shows the most economical way of generating surplus power for other uses or for the grid, while delivering important quantities of surplus bagasse. It may be conceived as the most economical solution when considering the development of a derivatives industry in a sugar cane region with a high concentration of sugar mills and a long sugar season. Power is produced in the most efficient, lowest-cost way, while bagasse is supplied for the total requirements of the region. The balance is achieved through a suitable analysis of the particular case under study.

The generation of surplus power using extraction-condensing turbines depends on macro-economic criteria concerning the relative value given to bagasse as raw material for industry or as fuel for saving oil. In countries such as Mexico and Venezuela, which have large reserves of oil at their disposal, and low domestic oil prices, this alternative is not attractive since it does not compete with fuel oil; but in countries where the usual present high prices of fuel oil prevail, it proves to be economical.



FIG. N° 1 SURPLUS BAGASSE



**FIG. Nº 2 CO - GENERATION**

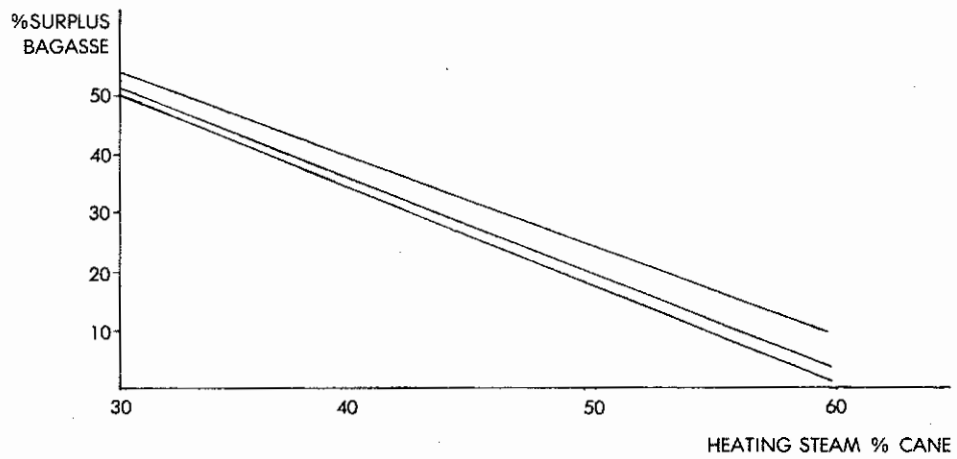
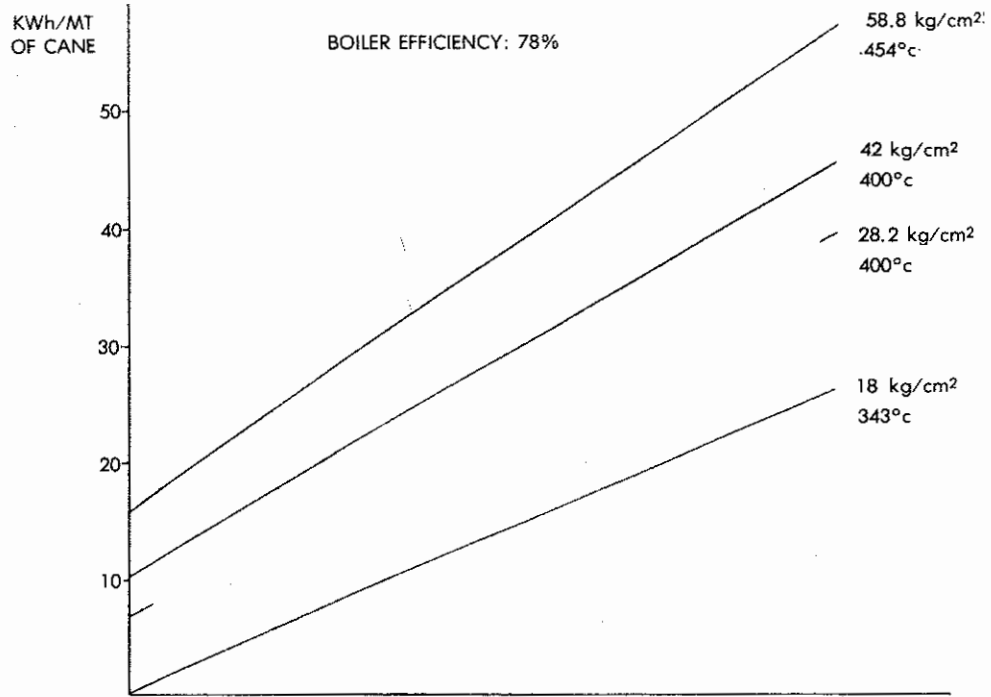


FIG. N° 3

SURPLUS ELECTRIC POWER

