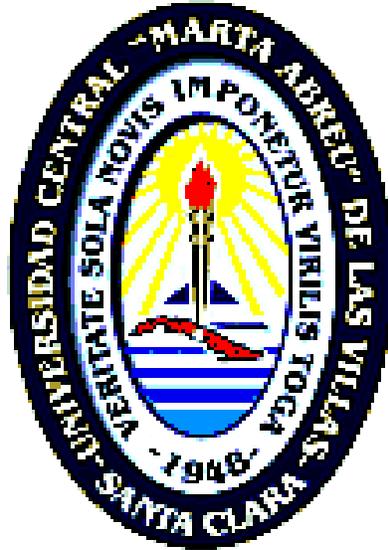


Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”

Facultad Ingeniería Mecánica

Departamento Energía



Trabajo de Diploma: “Análisis de alternativas de centrales energéticas cañeras en Cuba”

Tutor: Dr. Pablo Roque Díaz.

Ing. Félix J. Pérez Egusquiza.

Autor: Emilio García Basterra.

Santa Clara 2006

Curso 2005-2006

Año de La Revolución Energética en Cuba

Pensamiento

Todo nuestro pueblo, todos los trabajadores, todos nuestros jóvenes, nuestros estudiantes. Incluso, nuestros pioneros tienen que tomar conciencia de la energía, de sus perspectivas futuras. ...Mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría y con responsabilidad cada recurso, no nos podremos llamar un pueblo enteramente revolucionario.

Fidel Castro Ruz.

Clausura del primer Forum Nacional de Energía

Diciembre de 1984.

Dedicatoria

A mi niña Ana Laura...

A mis padres, y mi hermana guías insustituibles en mi vida...

A Wilfredo Gutiérrez, Calixto García y Mario Aguilera profesores de mi vida...

Agradecimientos

A toda mi familia, que con tanto esfuerzo permitieron que yo lograra mi sueño de terminar los estudios.

A Félix J. Pérez Egusquiza que sin su ayuda este trabajo no hubiera podido realizarse.

A Neima que siempre me apoyó en todo.

A mis amigos que juntos vivimos los buenos y los malos momentos de la vida Universitaria.

Resumen

El trabajo que se realiza propone algunas alternativas posibles, para convertir los actuales ingenios azucareros en Centrales Energéticas Cañeras, las cuales produzcan principalmente electricidad, etanol y azúcar además de otro grupo de derivados coyunturales acorde a la situación y el momento.

En el capítulo I se ejecuta una búsqueda bibliográfica acerca de las plantas generadoras de energía, así como de los costos utilizados en el trabajo.

En el capítulo II se hace el análisis pertinente para efectuar dicho cambio, además de analizar en la interrelación entre los precios internacionales del azúcar, petróleo y etanol.

Por último el capítulo III se estudia el impacto ambiental que la transición pudiera provocar.

Summary.

The work that is carried out proposes some possible alternatives, to transform the current sugar mill into sugar cane power plant, which produce mainly electricity, ethanol, sugar and another group of derivatives according of the moment and situation.

In the chapter I is executed a bibliographical search about the generating plants of energy, as well as of the costs used in the work.

In the chapter II the pertinent analysis is made to make this change, besides an investigation in the interrelation among the international prices he/she gives the sugar, petroleum and ethanol.

And lastly the chapter III studies the environmental impact that the transition could cause.

Índice

	Contenido	Pág.
	Resumen.....	IV
	Summary.....	V
	Introducción.....	1
I	Capítulo I: Revisión bibliográfica sobre las plantas generadoras de energía y los costos en la industria azucarera	3
	1.1 Planta de generación de energía.....	3
	1.2 Clasificación de las plantas de generación de energía....	3
	1.3 Configuración general de una planta de generación de exergía.....	4
	1.4 Eficiencia global.....	4
	1.5 La cogeneración en la industria azucarera.....	4
	1.6 Costos conjuntos.....	7
	1.7 Costos de producción en la industria azucarera.....	9
	1.7.1 Costos de la caña.....	9
	1.7.2 Costos para destilerías anexas y electricidad cogenerada.....	12
II	Capítulo II: Análisis de la transformación hacia las CEC	14
	2.1 Introducción.....	14
	2.2 Disponibilidad energética de la caña de azúcar.....	14
	2.3 Potencial exergético de la caña de azúcar.....	15
	2.4 Situación energética actual de los ingenios.....	17
	2.5 Análisis de alternativas para el desarrollo hacia las CEC.	19
	2.6 Costos de las tecnologías existentes en el mundo.....	24
	2.7 Premisas y acciones principales para comenzar el tránsito de industria azucarera actual a las futuras CEC..	24
	2.7.1 Estudio de casos de posibles CEC.....	26
	2.7.2 Comparación de casos.....	30
	2.8 Riesgos. Atenuantes.....	31
	2.9 Análisis de la variación de los precios internacionales.....	31
III	Capítulo III: Investigación del impacto ambiental de las CEC.	35
	3.1 Introducción.....	35
	3.2 Análisis del beneficio medioambiental.....	35
IV	Conclusiones.....	37
V	Recomendaciones.....	38
VI	Bibliografía.....	39
VII	Anexos.....	42

Introducción

El país hoy en día tiene como una de sus premisas fundamentales para su desarrollo el ahorro de energía y de los recursos existentes en la isla, principalmente en este año denominado año de la revolución energética en Cuba. Para esto el estado cubano ha trazado diferentes políticas para enfrentar los altos precios de los combustibles fósiles, así como su inminente desaparición.

De la caña, incluidos los residuos agrícolas como biomasa adicional, es posible obtener combustible (alcohol etílico o etanol), electricidad, azúcar, miel y otros derivados si fuese necesario en coyunturas de mercado.

Esto le confiere a la caña una inestimable capacidad “multiplicadora de energía útil” al ser una de las plantas que posee mayores cualidades, entre los cultivos comerciales, por su eficiencia de asimilación por fotosíntesis y su capacidad para producir masa verde con un alto contenido de agua aprovechable, convirtiendo la energía solar en alimento y combustible.

Para que Cuba se integre de forma decisiva y viable a la producción de energía a partir de fuentes renovables, la industria azucarera cubana tiene que transformarse en una industria conceptualmente diferente también a partir de la caña donde la generación de electricidad sea su producto principal, en necesaria coproducción con alcohol y azúcar en flexibles proporciones según lo imponga el momento.

La cultura, los conocimientos asociados, formados por siglos sobre el cultivo de la caña de azúcar y su explotación industrial y el enorme capital humano desarrollado por la revolución, constituyen inestimables fortalezas para el aprovechamiento de las potencialidades energéticas de la caña .

Introducción

Por todo esto se hace necesario el estudio de alternativas de centrales energéticas cañeras, en lo adelante (CEC) en Cuba. Por estos motivos se traza la **hipótesis** del trabajo:

Existen diversas alternativas sobre tecnologías ya constituidas, que de implementarse correctamente, harán posible la transformación de los actuales ingenios ó centrales, en empresas energéticas cañeras.

El presente trabajo tiene como **objetivo principal**, valorar algunas alternativas de CEC para el país.

Objetivos Específicos

1. Analizar la variación de los precios internacionales del azúcar, petróleo y etanol.
2. Analizar los posibles beneficios medioambientales de estas instalaciones

CAPITULO I

Revisión bibliográfica sobre las CEC y los costos en la industria azucarera

Las centrales energéticas cañeras se pueden considerar plantas generadoras de energía. A continuación se dan algunas ideas sobre las mismas.

1.1 Generalidades de las plantas de generación de energía.

Una planta de generación de energía es un complejo creado por el hombre destinado a transformar la proveniente de alguna fuente de la naturaleza en una forma de energía útil para el hombre.

Energía útil: es la energía que se encuentre en alguna de las formas: cinética, potencial, trabajo -o energía mecánicas - o energía eléctrica. Modernamente a la energía útil se ha dado en llamarla Exergía y aquella forma de energía completamente incapaz de transformarse en trabajo, Anergía.

La planta de generación de energía viene a ser un complejo destinado a obtener exergía de alguna fuente de energía de la naturaleza.

1.2 Clasificación de las plantas de generación de energía.

La primera clasificación de estas plantas se puede hacer tomando como base el tipo de fuente de energía que utilice. De esta manera se tendrán:

Atómicas.

Plantas hidráulicas.

Plantas eólicas.

Plantas Solares.

Plantas geotermales.

Plantas de fuentes novedosas o no tradicionales.

1.3 Configuración general de una planta de generación de exergía.

Una planta de estas tiene como finalidad producir un tipo de energía útil para un consumidor a partir de una fuente que contiene alguna clase de energía aprovechable. Esto significa que en el comienzo de la cadena conducente a surtir de energía a un consumidor, está la fuente de energía aprovechable y al final estará el consumidor o usuario final.

Toda planta de generación en funcionamiento óptimo puede asemejarse a un filtro en que a la energía suministrada (exergía más Anergía) se le depura para que la exergía siga hacia el consumidor y la Anergía se retorne al universo. En esta labor entra el descargador de Anergía. Si la planta no es totalmente eficiente saldrá también por ahí parte de exergía.

1.4 Eficiencia global.

Este índice da una idea de que tan bien se desempeña energéticamente una planta. Indica cuanta energía está transformando por cada unidad de energía suministrada. Otro índice aprovecharía el contenido de Exergía de la energía suministrada. Una planta óptimamente eficiente obtendría a la salida la cantidad de exergía contenida en el suministro y desecharía solo el contenido Anergético.

1.5 La cogeneración en la industria azucarera.

El concepto de cogeneración de calor y potencia eléctrica o mecánica, tradicionalmente utilizado, se ha limitaba al hecho de, en una misma instalación industrial, producir el calor y la potencia eléctrica o mecánica que se necesita en ella. Hoy en día, el término cogeneración ha sumado una nueva acepción, siendo esta la idea de producir en una instalación industrial -no prevista originalmente en lo fundamental con estos fines- electricidad y calor para su

comercialización en un sistema externo. Es con este concepto que se han desarrollado en la actualidad un gran número de proyectos para la cogeneración en la industria azucarera a nivel mundial empleando la biomasa cañera como combustible.

La combinación de los bajos precios actuales del azúcar y los altos precios del crudo, y por ende de la energía generada con él, han creado una situación en la cual las posibles ganancias por la venta de electricidad están en un orden similar a las de la venta del azúcar y si a esto se añade la real posibilidad de la producción de alcohol con fines de uso como combustible en el transporte, no es difícil reconocer que el empleo de la biomasa con origen en la caña de azúcar para la formación de una industria eminentemente energética y que ya está siendo reconocida bajo el nombre de industria sucroenergética es una posibilidad real, tanto desde el punto de vista técnico como económico [13].

Los proyectos de cogeneración en la industria azucarera suman otras dos ventajas:

Primera, el hecho de que al ser instalaciones diseminadas en diferentes puntos de la geografía, permiten la creación de un sistema eléctrico con generación distribuida, lo que es muy ventajoso por disminuir las pérdidas en la distribución de la energía y dar más fiabilidad al sistema en caso de desastres naturales o ataques terroristas.

Segunda. Cada nuevo proyecto hace una significativa contribución a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

El desarrollo de proyectos de cogeneración con el empleo de la biomasa, en la actualidad, es un fenómeno generalizado en una gran cantidad de países de Europa, Asia y América y emplean las más diversas biomásas [15, 16, 4].

¿Ahora a qué se le considera biomasa? El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de las plantas y desechos de animales que

pueden ser convertidos en energía; o los provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café y arroz), del aserradero (ramas, aserrín, cortezas), o los residuos urbanos.

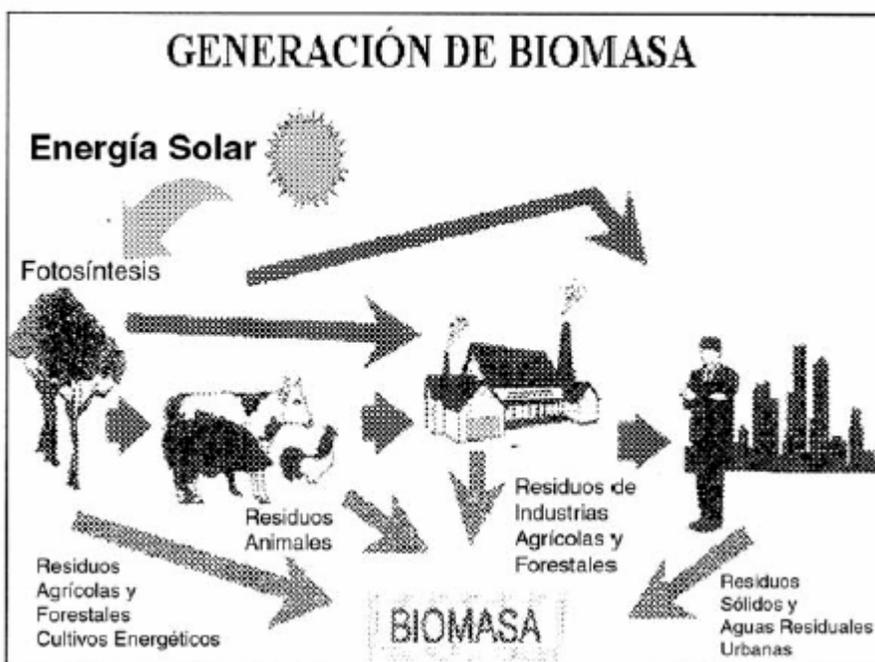


Fig.1 Origen de la biomasa. Fuente: Instituto para la Diversión y Ahorro de la Energía (IDAE)

En la más reciente encuesta a nivel mundial de World survey of decentralized energy, WADE [30] en el 2005, los potenciales de producción de electricidad con bagazo, en algunos de los principales países productores de caña de azúcar, en por ciento con respecto a sus demandas de electricidad son: Cuba 25,93; Brasil 11,50; Colombia 9,19; Pakistán 8,34; Tailandia 8,15; Filipinas 6,16; India 5,83; México 2,42; Australia 1,95 y China 0,72. Estos potenciales relativos significan en valores absolutos capacidades potenciales de mucho interés: Brasil 12000 MW e India 5000 MW.

En el reporte sobre cogeneración con bagazo de WADE [30] se aportan datos generales sobre potencialidades y consumos energéticos durante el proceso industrial que se presentan resumidamente a continuación.

Tabla 1: Potencialidades y consumos energéticos durante el proceso industrial

	Unidades	Ciclo de bajos parámetros (p y t)	Ciclo de altos parámetros (p y t)
Potencial de energía disponible del bagazo	kWh/tc	60	370-510
Potencial de generación eléctrica	kWh/tc	20-30	90-160
		Proceso industrial con baja eficiencia. Alta demanda	Proceso industrial con alta eficiencia. Baja demanda
Demanda energética del proceso industrial azucarero. Calor	kg vapor/tc	500	380
Demanda energética del proceso industrial azucarero. Electricidad	kWh/tc	34,5	15

La valoración de estas cifras demuestra que el desarrollo de la cogeneración con bagazo de manera eficiente tiene dos retos técnicos fundamentales: Elevar los parámetros del ciclo de las nuevas instalaciones y disminuir los consumos energéticos propios del proceso azucarero (y del alcohólico de existir esta producción). Téngase presente que en la industria azucarera remolachera los consumos han sido ya reducidos a valores entre 200 y 160 kg vapor/t.

Además de lo analizado anteriormente, se deberán considerar otros conceptos propios de la economía azucarera tales como:

1.6 Costos conjuntos

La contabilidad de costos define las empresas de múltiples productos como empresas de producciones conjuntas, centrándose en el tratamiento de los costos para cada uno de los productos que obtienen en el mismo proceso. La diferencia con respecto a las empresas de una sola producción es que del proceso no saldrá un solo producto sino varios. Todas estas situaciones

complican el cálculo de costos pues se deberán realizar múltiples distribuciones de los costos conjuntos a cada producto o flujo. Según la contabilidad [8], la producción conjunta contempla tres tipos de producción que se identifican según los objetivos de la empresa y el valor de estas producciones. De este modo se tienen:

Los coproductos (productos principales o conjuntos): son los productos que tiene una importancia económica similar y relevante para la empresa.

Los subproductos (productos secundarios): son productos de baja importancia económica para la empresa, elaborados simultáneamente a los principales, requiriendo muchas veces de procesos adicionales para ser comercializados.

Los desechos con valor de uso, por ejemplo los RAC: son un subproducto que no tienen valor alguno para la empresa, que se obtienen como sobrantes de la producción, por lo que no tiene sentido que sea calculado su costo económico.

Según todo lo anterior la contabilidad define una serie de métodos para realizar la distribución de costos entre las producciones conjuntas. Así pues según [8] se tienen los siguientes:

Existen cuatro métodos generales para el tratamiento de los costos conjuntos de los productos, hasta su punto de separación, como sigue:

- Costo medio unitario: por este método solo se calculan los costos totales, obteniendo así un costo unitario promedio y una ganancia neta. Por consiguiente, se obtienen costos promedios para la producción en conjunto. Este método solo es aplicable en los casos en los que los productos resultantes se expresan en función de las mismas unidades. Cuando las unidades no son comparables, el método no es aplicable.

- Prorrateso sobre la base de alguna unidad física: por este método, los costos conjuntos se distribuyen entre los productos tomando como base algunos

coeficientes físicos; por ejemplo, el costo conjunto se descompone en proporción a las materias primas contenidas en cada producto.

- Prorrrateo tomando como base los valores relativos de mercado de los productos acabados: es el método más generalizado para distribuir los costos conjuntos, consiste en tomar como base los valores relativos de mercado (esto es, los precios de venta) de los productos finales. Tal como se aplica en la práctica, es una base de valor de mercado ponderada, ya que el valor de mercado de cada producto, es el producto del peso u otra cantidad, por el valor unitario.

- Método de coeficiente estándar, o Método de fracción fija: de acuerdo con este procedimiento de costos, los costos de la materia prima se distribuyen entre los productos tomando como base los estándares predeterminados. En las industrias de producción conjunta el precio de venta se fija en el mercado y es controlado por la oferta y la demanda.

1.7 Costos de producción en la industria azucarera.

Debido a que la industria cubana transformadora de la caña de azúcar es esencialmente productora de azúcar, solamente se determinan los costos de producción de ésta. Los valores de la melaza, de la cachaza u otros subproductos, se consideran cero los costos, y el precio de venta de estos subproductos se establece de consenso.

1.7.1 Costos de la caña [27]

Para producir azúcar primero se deben hacer una serie de operaciones, las cuales tienen sus costos. A continuación se dan algunos índices que dan una idea del comportamiento de los mismos.

Las labores presiembra están alrededor de los \$150 por ha, aquí se incluye la preparación de suelos, y la fertilización mecanizada, fórmula de abono y otras.

Se debe aclarar que en zafras anteriores, algunas de estas operaciones de las que consta la presiembra, no se efectuaban ya fuera por la falta de combustible, fertilizantes y otras veces por negligencia de los trabajadores encargados de dichas labores. Esta etapa es fundamental para la posterior productividad de la caña, pues el buen estado de la tierra en este período es esencial en el posterior crecimiento y maduración de la gramínea.

Para la siembra se deben destinar alrededor de \$230 por ha, consistentes en el surcado, costo de la semilla y de la mano de obra. En esta etapa es esencial la buena calidad de la semilla y la garantía de una buena siembra por parte de los encargados. También se debe considerar la etapa ideal para la siembra, pues las condiciones climatológicas propicias para la maduración son las de sequía, que por lo regular es a partir de noviembre y se extiende hasta finales de abril. El proceso de maduración tiene un comportamiento parabólico y se mide por el pol en caña. Este indicador comienza a ascender desde diciembre hasta finales de marzo y luego comienza a descender.

Actualmente las posibilidades de la cosecha mecanizada están restringidas por las posibilidades tecnológicas de las máquinas existentes y en algunos lugares por las condiciones topográficas de los suelos (terrenos ondulados y pedregosos). No obstante la cosecha mecanizada resulta más económica que la manual y constituye una de las vías para disminuir los costos agrícolas.

Después se pasa al riego el cual se efectúa mayormente por gravedad y cuesta aproximadamente \$45 por ha. Se debe decir que esta etapa se cumple casi siempre.

Después de nacida la caña, y una vez comenzando a crecer, se hace necesaria la fertilización que necesita 6 sacos de urea por ha, estos cuestan 60\$. Según estudio de [32] la caña muestra una respuesta lineal en los tonelajes de azúcar por ha aplicándole de 200 a 250 Kg de N, P, K por tanto a partir de esta cantidad el fertilizante que se eche será en vano. Sin embargo muchas

veces no se llega a fertilizar con la cantidad necesaria, lo que atenta también contra la productividad posterior. Estos aspectos agrícolas analizados anteriormente son de vital importancia, pues determinan el buen rendimiento de la caña a la postre, evidenciándose fundamentalmente en los tonelajes de caña por hectárea índice medidor del rendimiento agrícola. En nuestro país este índice ha disminuido en los últimos años, principalmente por la falta de recursos para las operaciones antes mencionadas.

La logística de la caña cuesta alrededor de los \$60 por tonelada de caña aquí se incluye el corte, la carga, el transporte y demás. Este aspecto es quizás el más débil en toda esta cadena, debido fundamentalmente al tiempo de explotación y al deterioro de los equipos que realizan estas operaciones. En el caso de los equipos encargados del corte mayormente las KTP-2, estos son equipos obsoletos algunos hasta con 20 años de explotación y por lo tanto con pérdidas en su eficiencia y aumento en el consumo de combustible.

El transporte se efectúa por camiones, tractores o bueyes en los lugares de difícil acceso topográfico, y en la noche es cubrido por el ferrocarril, aunque por el día este también trabaja sin embargo se recomienda el uso del tren para distancias largas (mayor a 20 km). Los medios de transporte de la caña no quedan fuera del contexto de antigüedad planteado anteriormente, aunque se ha producido una remotorización en los equipos más consumidores de combustible. La siguiente tabla nos da una idea del comportamiento de los principales medios de transporte.

Tabla 2: Costo de los principales medios de transporte de la caña

Transporte	Costo unitario (\$ / t·km)
Ferrocarril	0,32
ZIL 130 S/R	2,6
ZIL130 C/R	2,2
MTZ 80	1,5
Kamaz	2,3
Kamaz C/R	1,8

La parte industrial está grandemente afectada en la actualidad también por los años de explotación de la misma, y por la falta de un mantenimiento periódico. Pues este se efectúa solamente cuando se está acercando el comienzo de la zafra. Por lo tanto es necesario un impulso para su remodelación, en la cual se instalen las tecnologías existentes en la actualidad.

Todo el análisis anterior se hace con la finalidad de dar una idea sobre el estado actual de la industria azucarera cubana.

1.7.2 Costos para destilerías anexas y electricidad cogenerada.

Hace ya varios siglos la industria azucarera cubana obtiene alcohol a partir de la destilación de las mieles finales, sin embargo el volumen en valores de esta producción con respecto al azúcar es muy inferior, pues el alcohol es un producto de la sacarosa, y más del 90% de la que viene en la caña se convierte en azúcar cristal, para ser comercializada

Como parte de los estudios que se han realizado para evaluar las mejores variantes tecnológicas de producción de alcohol a partir de jugos intermedios azucarados y su factibilidad, ha surgido la pregunta de cómo determinar los costos de este alcohol ahora que su volumen puede llegar a ser similar al del azúcar. En este punto se cae en el terreno de las producciones conjuntas y se hace necesario distribuir costos entre los jugos que siguen para la producción de alcohol y los que siguen para la producción de azúcar. La solución propuesta por parte de las personas que han realizado este estudio es prorratear los costos en función del contenido de azúcar de los jugos, pues es esta la sustancia a partir de la cual en definitiva se obtendrán las dos producciones.

Cada uno de estos flujos azucarados parte de un punto más avanzado en el proceso y hasta obtener cada uno hubo diferentes gastos de exergía. Aquí surge el problema del costo de la energía consumida, que aunque es producida a partir de bagazo, tiene un costo de instalaciones y de mano de obra. Aplicar en este caso un prorrateo de costos es difícil puesto que hay que buscar una magnitud

física que permita distribuir costos entre flujos de características muy diferentes como pueden ser el bagazo, los jugos, el vapor o la electricidad. Sin embargo mediante la herramienta termoeconómica se puede resolver este problema magistralmente.

Hasta hoy ha existido la concepción de que la electricidad, al igual que los demás subproductos de la industria azucarera, puede considerarse gratis. Esta concepción ha traído como consecuencia que durante muchos años se desprecie el conocido potencial exergético de la fibra de la caña de azúcar.

La solución definitivamente ha de pasar por un mejor aprovechamiento de la exergía contenida en la caña de azúcar y una de las mejores formas que se tienen a mano es convertirla en electricidad mediante procesos eficientes. Sin embargo, para cuando se produzcan estas grandes cantidades de electricidad, se necesitará saber a ciencia cierta cual es el costo de cada uno de los coproductos que se obtendrán de esta industria de nuevo tipo, con el fin de poder determinar los precios y las ganancias por concepto de cada uno de ellos.

CAPITULO II

Análisis de la transformación hacia las CEC

2.1 Introducción

La situación imperante en el mundo actual en el cual ocurren cambios a diario es una realidad, la transformación de la industria azucarera tampoco ha quedado atrás, nuestra industria para integrarse en este grupo necesariamente debe evolucionar también. La flexibilidad entre la producción de azúcares y/o etanol será prácticamente obligada en las nuevas instalaciones y en ambas la electricidad completará las producciones principales en cogeneración y distribuida con turbo generadores de extracción condensación ajustables a las producciones del momento.

La necesidad de tener las instalaciones funcionando el mayor número de horas al año hará que funcionen cuando no hay caña con otros combustibles, principalmente con otras biomásas.

2.2 Disponibilidad energética de la caña de azúcar

Las plantas que existen sobre la tierra son capaces de almacenar a través de la fotosíntesis una cantidad de energía 10 veces mayor que el consumo mundial, y unas 200 más que la energía total de los alimentos que utiliza el hombre [1]. Mediante este proceso natural la energía se almacena en forma de biomasa, se libera oxígeno hacia la atmósfera y se fija dióxido de carbono [25]

En particular, la caña de azúcar exhibe índices más ventajosos que otros cultivos en cuanto al almacenamiento de energía proveniente de la radiación solar, como se aprecia en los aspectos siguientes:

- Es capaz de almacenar el 1.7% de la energía existente en la radiación incidente en cultivos con irrigación y en condiciones experimentales [25] y 1.1% en campos bien atendidos con regadío
- Tiene un rendimiento potencial genético que se encuentra entre 200-300 t/ha [25] de masa seca con un máximo teórico de 233 t/ha. [24] se compara ventajosamente con otros cultivos [14].
 - Como promedio pueden emplearse las siguientes relaciones de sustitución:
 - 5 toneladas de bagazo 50% de humedad por tonelada de crudo (alrededor de 40 MJ/Kg.) [24].
 - Una tonelada de bagazo equivale alrededor de 230 m³ de gas natural [11].
 - Cuatro toneladas de paja equivalen a una tonelada de crudo [10].
 - El valor calórico del bagazo (50% humedad) es semejante al de la madera : 7.9 MJ/Kg. [12].
 - La planta de caña de azúcar ocupa uno de los primeros lugares en el reino vegetal en cuanto a su efectividad de conversión de energía solar en biomasa, por unidad de tiempo y por unidad de superficie cultivada, lo que se refleja en el alto contenido exergético acumulado

2.3 Potencial exergético de la caña de azúcar [19]

La exergía de la caña se debe principalmente a la energía química de su parte fibrosa (bagazo, hojas, etc.) y de su jugo, compuesto básicamente por sacarosa como compuesto químico portador de exergía.

Se acostumbra a referir las energías obtenidas a una tonelada de caña molida, entendiendo como tal únicamente los tallos limpios cuando una buena parte de las posibilidades exergéticas de la caña integral, están en los residuos agrícolas cañeros (RAC), que normalmente no se muelen. La exergía de la caña podría estimarse aproximadamente (despreciando la porción sensible o térmica y otros

efectos) como la suma de las exergías químicas del bagazo seco, de la sacarosa y de los componentes combustibles de los RAC. Dichas exergías son aproximadamente iguales a sus poderes caloríficos inferiores. Para una composición típica, con fines ilustrativos en la tabla 1 se muestra la composición exergética.

Tabla 3: Contenido exergético de la caña de azúcar (composición típica).

Componente	Contenido caña molida	%	Exergía MJ/kg	Exergía MJ/kg caña	Exergía kWh/tc	% del total
Bagazo seco	14	17	2.38	660	38.6	
Sacarosa	15	15	2.25	625	36.5	
Ceniza	1	0	0.00	0	0.0	
Agua	70	0	0.00	0	0.0	
Subtotal (caña limpia)	100	-	4.63	1285	75.2	
RAC secos disponibles	9	17	1.53	425	24.8	
Total	109	-	6.16	1710	100.0	

De la tabla 1 resulta evidente que las mayores posibilidades de conversión energética (64 %) están en el bagazo y los RAC, pero que la sacarosa contenida en la caña representa cerca de un 37 %, lo cual no debe desdeñarse, sobre todo en escenarios con muy bajos precios de comercialización del azúcar. Debe notarse que la llamada caña energética dispone de un bajo contenido de sacarosa y altos porcentajes de fibra, lo cual hace variar considerablemente las proporciones señaladas.

Si se supone como producción básica el azúcar, la energía disponible para su conversión ulterior será, sobre todo, la de la sustancia fibrosa, y la de los residuos industriales con algún contenido exergético sobrante: miel, cachaza, residuales azucarados, etc. En condiciones determinadas puede resultar ventajoso desviar total o parcialmente los esquemas de producción hacia la

obtención de energía en detrimento de las producciones tradicionales, por ejemplo convertir azúcar, jugo o miel en alcohol, energía eléctrica, etc.

La sustitución de combustible fósil por biomasa en la generación de energía eléctrica tiene una enorme influencia ambiental, en particular por la disminución del desequilibrio del carbono en la atmósfera.

2.4 Situación energética actual de los ingenios.

Los 46 ingenios en activo poseen un total de 117 turbogeneradores con un potencial total instalado de 397,5 MW.

De los antes mencionados, solo René Fraga no está sincronizado al Sistema Electro energético Nacional (SEN).

Tabla 4: Estructura de capacidades

Cantidad	Potencia Unitaria (MW)	Potencia Total (MW)	% de la potencia total instalada en los centrales
27	1,5	40,5	10,0
5	2,0	10,0	2,5
4	2,5	10,0	2,5
14	3,0	42,0	11,0
52	4,0	208,0	52,0
12	5,0	60,0	15,0
2	7,5	15,0	3,8
1	12,0	12,0	3,2

Las 12 destilerías existentes poseen un total de 13.3 MW que se adicionan a los 397. 5 MW instalados en los centrales para un total de 410. 8 MW.

Tabla 5: Capacidad instalada en destilerías

Destilería	Potencia Unitaria (MW)	% de la potencia total instalada
Habana	0.5	0.12
Héctor Molina	0.5	0.12
Jesús Rabí	0.5	0.12
H. Duquesne	0.75	0.18
Antonio Sánchez	0.75	0.18
Melanio Hernández	0.5	0.12
Enrique Varona	0.5	0.12
Amancio Rodríguez	0.75	0.18
Antonio Guiteras	5	1.2
Antonio Maceo (propuesto pasar para J. A. Mella)	0.3	0.07
Urbano Noris	0.75	0.18
Argeo Martínez	0.5	0.12

Calderas: La cantidad total instalada asciende a 175 y su estructura según tipo y capacidad resulta:

Tabla 6: Calderas instaladas

Cantidad	Tipo	Capacidad (t/h)
7	Reto	25 y 45
58	Retal	45 y 60
67	EKE	25 y 45
23	Evelma	20 y 35
3	BW	15 y 25
1	IP	32
2	Francesas	45
14	Stirling	30 y 45
Total: 175		

En el 2004 el MINAZ gastó 48.9 millones de pesos de un plan de 39.9 millones por concepto de compra de electricidad a la red nacional, erogando 9 millones por encima de lo planificado.

Hasta septiembre del 2005 se habían facturado 35 millones de pesos, lo que sobrepasaba en 8.3 millones lo planificado.

Todo este sobreconsumo de energía afecta el presupuesto del MINAZ, esa es la importancia de lograr el autoabastecimiento del sector con eficiencia en la disminución del consumo y en la explotación de las capacidades generadoras instaladas en la industria que se haría con un ahorro neto equivalente de crudo.

La energía que genere el sector, debe satisfacer su demanda sobre la base de la disponibilidad de biomasa cañera que requiere. El MINAZ tiene como uno de sus objetivos fundamentales alcanzar en el 2009, el autoabastecimiento de electricidad en el sector y cuando esto se logre entonces pasar a vender, lo cual actualmente se logra pero no compensa lo que se compra en paradas. Es por esto que surge la necesidad transformación de la industria actual en una industria sustentable.

2.5 Análisis de alternativas para el desarrollo hacia las CEC.

En la actualidad existe un elevado número de tecnologías en procesos de evaluación a nivel de proyectos pilotos y otras ya establecidas, que podrían valorarse como alternativas en los procesos inversionistas de cogeneración en la industria sucroenergética en el futuro, entre ellas se tiene:

Ciclos combinados con el empleo de la gasificación de la biomasa (diferentes variantes), ciclo Rankine orgánico y sistemas Stirling; sin embargo, realmente madura y comercial solo se dispone de la tecnología del ciclo Rankine con sus dos variantes tradicionales:

Turbina de contrapresión y turbina de extracción-condensación que con una alta eficiencia permite alcanzar más de 350 kWh. Generalmente se recurre a la

variante de dos extracciones buscando mejor compensación entre el consumo en los sistemas de potencia y la demanda del proceso de cocción y evitar el empleo de válvulas reductoras por sus indeseables pérdidas, aunque los hay también con una sola extracción.

En lo tocante a la combustión del bagazo y demás biomásas, se acude a los sistemas de parrilla (lecho fijo) a pesar de los importantes avances existentes en la combustión en lecho fluidizado.

En todos los casos se utiliza el bagazo como combustible fundamental, pero la mayoría opera con un combustible complementario en los períodos fuera de zafra, para aumentar las horas de operación anual y buscar disminuir el tiempo de recuperación de la inversión. Las alternativas empleadas como combustible complementario son diversas: carbón, fuel oil, bagazo almacenado y/o comprado a otros ingenios, residuos agrícolas cañeros y otras biomásas.

Utilización de calderas de altas temperaturas y alta presión que permiten mejor aprovechamiento de los combustibles y permiten mayor generación de energía a partir de el vapor producido

Además existen otras tecnologías en estudio que en un futuro serán perfectamente aplicables tales como:

- Los ciclos combinados que tienen la ventaja de ser más eficientes que los de vapor exclusivamente, por lo que se ha pensado en la posibilidad de aplicarlos al caso de cogeneración en centrales azucareros. Esta variante implica la gasificación del bagazo para ser quemado en una turbina de gas en la que se obtendría energía eléctrica. Los gases de escape de esta turbina serían utilizados para generar vapor en una caldera recuperativa, y para secar el

bagazo que será gasificado. Pero esta tecnología todavía no se encuentra a punto, pues necesita solucionar algunos problemas tecnológicos relacionados con la limpieza del gas combustible obtenido, y con el suministro de la biomasa al gasificador. En la figura 2 se muestra el esquema de una planta de cogeneración con gasificación de biomasa y microturbina de gas.

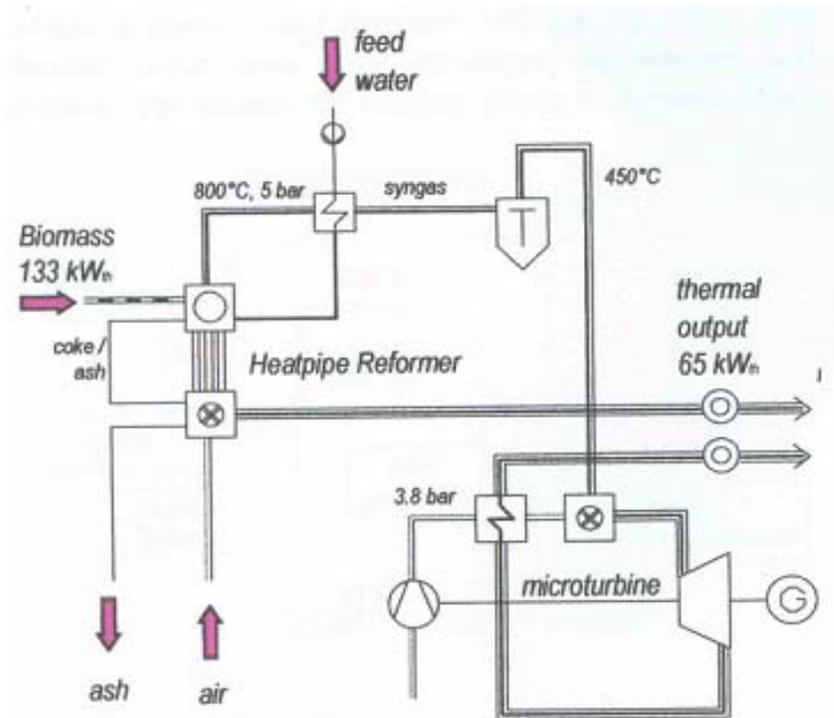


Figura 2: Plano general de una planta de cogeneración gasificación / microturbina.

- También se ha comenzado a estudiar la posibilidad de utilizar en celdas combustibles el gas obtenido a partir de la biomasa. Esta variante es todavía más cara que las analizadas hasta aquí pero promete eficiencias totales de hasta un 80% y eficiencias eléctricas de 30% o más. Es posible incluso, combinando gasificadores alo termicos, los cuales son capaces de utilizar una

fuentes de calor externa para el proceso de gasificación, con celdas combustibles de alta temperatura, obtener eficiencias eléctricas de hasta un 51%. Esta diferencia tan drástica con respecto a la variante anterior se debe a que el calor residual de la celda combustible se reintroduce en el gasificador y de esta forma este consume menos energía química del combustible para el proceso de gasificación.

Estas dos últimas variantes son promisorias en lo fundamental para las pequeñas plantas de cogeneración. Los costos fundamentales de estas plantas no estarían constituidos por el gasificador sino por los demás equipos, celdas combustibles, microturbinas y sistemas de manipulación de combustible.

- La desalinización de agua de mar como típico proceso de cogeneración de vapor y electricidad, que pudiera dar pie a diseñar fábricas que trabajen todo el año, evaporando guarapo de caña y agua de mar y utilizando bagazo - RAC y otros combustibles, en las épocas alternas conocidas.

- El desarrollo en el país de variedades de caña, llamadas energéticas, de mayor contenido de fibra que le atribuyen un alto potencial para la generación de vapor y electricidad.

El aporte energético altamente eficiente de una industria a partir de la caña, podrá garantizar también un desarrollo armónico, coyuntural y puntual, de la producción de derivados con relativo alto consumo de energía pero necesarios en muchos campos tales el desarrollo de madera artificial, tableros de bagazo, cera y medicamentos, los cuales han disminuido su velocidad de desarrollo o se han paralizado en algunos casos por ser altos consumidores de energéticos. Tecnologías actuales en uso en las Islas Reunión, Mauricio y Guadalupe y en otros ingenios del mundo, que ya pueden aplicarse perfectamente en Cuba,

obtienen en sus fábricas modernizadas una generación a partir del bagazo de hasta 170 KWh. por tonelada de caña, de estos aproximadamente 30 se auto insumen y el resto se entrega a la red pública. Cuba como promedio alcanza alrededor de 32 KWh. por tonelada de caña de generación total. Un número reducido de centrales, los que trabajan con las mayores presiones de vapor, tienen por diseño un potencial de generación de unos 54 KWh. por TM caña y de estos 30 o 35 para el consumo propio, de presentar un comportamiento estable de alto aprovechamiento de la capacidad potencial, y 24 KWh/TM caña como máximo para entregar al SEN, cifra pequeña en comparación con lo logrado en la industria azucarera de otras partes del mundo que la diferencia fundamentalmente de la nuestra, desde el punto de vista técnico, en la utilización de esquemas de consumo reducidos de vapor en el proceso, calderas de mayor presión y temperatura del vapor y combinaciones de turbogeneradores de extracción- condensación.

En Cuba de contar con condiciones industriales similares, la cifra puede llegar a 180 KWh. por tonelada de caña al poder incorporar la parte de los residuos agrícolas (paja) de la caña que se separan en los centros de limpieza, y que también se puede utilizar como combustible.

Antes de la utilización de la paja como combustible se debe recoger y preparar, esta elaboración consiste en el picado a un tamaño adecuado y requerido antes de entrar en las calderas. Esta tecnología también fue diseñada en Cuba y continúa en perfeccionamiento y ha sido ampliamente utilizada desde hace años en varios centrales como son, Chiquitico Fabregat, Quintín Banderas, Baliño, Ecuador, Primero de Enero, Argentina, entre otros, en unos casos como sustituto del crudo para la producción de refino, alcohol, y otros derivados, y en otros simplemente para suplir el bagazo en falta por interrupción en la molienda.

2.6 Costos de las tecnologías existentes en el mundo.

Para las plantas de cogeneración, los costos de inversión varían en dependencia de las presiones de trabajo. Para bajas presiones, entre 3.0 MPa y 4.5 MPa, es decir 30-45 bar. las inversiones oscilan alrededor de los 700 USD/kW instalado, para presiones entre 4.5 MPa y 6.5 MPa, la instalación puede costar 800 USD/kW instalado, finalmente, para presiones en el orden de 8.0 MPa los costos se elevan hasta los 1500 USD/kW instalado.

Aunque con el aumento de las presiones aumentan también los índices de generación, los costos aumentan en una proporción todavía mayor, y los tiempos de recuperación se extienden desde los 4 años, a bajas presiones, hasta los 6.0 MPa, hasta los 6 años en el caso de las altas presiones [18].

Para las plantas de cogeneración, los proyectos de remodelación de instalaciones existentes cuando la complejidad es baja o media presentan costos inversionistas entre 400 y 1150 USD/kWe instalado.

Los proyectos de remodelación de alta complejidad y de nuevas instalaciones se mueven en valores inversionistas entre los 1400 y 1700 USD/kWe instalado. El proyecto Okeelanta en EEUU es una excepción con 2600 USD/kWe [20].

2.7 Premisas y acciones principales para comenzar el tránsito de industria azucarera actual a las futuras CEC

1. Se deberá planificar la recuperación de lo que existía antes del período especial, por ejemplo: economizadores, sopladores de hollín etc, y se podrán dar algunos pasos nuevos como serán optimizar el aislamiento térmico con mejores materiales y espesores y técnicas de aplicación, rediseño de las calderas para lograr las temperaturas máximas que

- admiten los turbogeneradores instalados, selección de los condensados a calderas con mejores temperaturas, sistema de carga activa para la entrega automática de eléctrica al SEN pasando todo el vapor por la planta electricidad.
2. La recuperación agro industrial en los primeros 3 años o hasta un punto que el futuro dirá, deberá que subsidiarla el estado, aunque se debe seguir luchando por costos inferiores a 120\$ como los de los últimos 5 años.
 3. Se debe destinar para sembrar caña las áreas que sean mecanizables para el corte y la agrotecnia, con posibilidades de riego y con historia de algunos años. De las cuales se llevarán cada año a zafra el 78% del área. El resto se mantiene para semilla.
 4. Debe mantenerse y optimizarse la eficiencia del sistema de recepción, trasbordo y limpieza de la caña, con un reordenamiento y reubicación de las estaciones, ubicándolas lo más cercanas posible a los nuevos ingenios.
 5. La quema de caña debe ser penada por la ley al igual que la quema de los residuos en el campo o el centro de limpieza, los cuales se usarán según el lugar y las proporciones definidas técnicamente como cobertura del suelo, alimento animal y combustible para sustituir crudo o generar electricidad o proteger la eficiencia industrial según lo que se determine económicamente en cada lugar, se debe recordar que el 25 % de la energía total potencial de la caña está en los RAC.
 6. El precio del KWh. vendido por el ingenio al SEN, producido con caña, deberá ser igual o superior a la tarifa de compra y nunca inferior como ha sido hasta ahora. Debe estar acorde principalmente al precio del mercado mundial del crudo sustituido y las bonificaciones por la disminución del CO2 y del efecto invernadero.

2.7.1 Estudio de casos de posibles CEC.

La presencia en estas instalaciones de una destilería anexa para la coproducción de alcohol y de una planta de generación de electricidad anexa, según las condiciones de cada lugar, se hacen necesarias para en tiempo de no zafra para las instalaciones que cuenten con plantas anexas podrán producir electricidad con algún otro combustible o biomásas alternativos y de esta forma dedicarse a la venta de electricidad para el SEN en dicho período.

Las ventas de los productos de las CEC se realizará según las coyunturas del mercado, es decir con lo que más ganancias aporte en el momento de su fabricación, siempre favoreciendo el medio ambiente.

Para la realización de estas propuestas se tomaron como base los siguientes datos:

Fibra % caña	12.00%
Pol en caña	13.00%
Humedad en bagazo %	50.00%
Pol en bagazo %	2.00%
Fibra en bagazo %	48.00%
Bagazo % en caña	25.00%
Rendimiento industrial %	11%
Cantidad de jugo (azúcar %)	25% del total
Cantidad de jugo (etanol %)	75% del total
Rendimiento agrícola t/ha	40.00
Cantidad de días zafra	150

PROPUESTA 1 CEC con destilería anexa

En esta primera variante se utiliza el 25% del jugo total para producir azúcar, y el resto, es decir el 75% para producir alcohol, La producción de electricidad producción de electricidad es a partir de las nuevas tecnologías específicamente mediante los turbos de extracción condensación.

Costo de la instalación

Potencia a instalar (kW)	15000
Costo del kW instalado	1500
Costo de la instalación	\$22,500,000

Molida

Capacidad de molida tc/d	7000
bagazo(ton)	262500
Cantidad de azúcar (ton)	28875
Precio de venta del azúcar \$/lb	\$ 0.17
Ventas por azúcar (USD)	\$ 441,787.50

Destilería

Cantidad de litros / ton caña	122
Cantidad de etanol (litros)	10568250
Precio de venta del etanol \$/ lt	1.05
Ventas por etanol (USD)	\$ 5.548.331,25

Electricidad

kWh / tc	150
Electricidad producida	157500000
Precio del kWh vendido al SEN	0.08
% electricidad que se consume	30%
% electricidad a vender al SEN	70%
Ventas por electricidad	\$8,820,000.00
Ventas totales	\$ 14.810.118,75
Recuperación Inversión (años)	1,52

PROPUESTA 2 CEC con destilería anexa

En esta variante se utiliza el 50% del jugo para producir azúcar, 50% para producir alcohol, y la producción de electricidad a partir de las nuevas tecnologías.

Capítulo II

La potencia a instalar se mantiene igual 15 MW

Molida

Capacidad de molida tc/d	7000
Bagazo(ton)	262500
Cantidad de azúcar (ton)	57750
Precio de venta del azúcar \$/lb	\$ 0.17
Ventas por azúcar (USD)	\$ 883,575.00

Destilería

Cantidad de litros ton/caña	80
Cantidad de Etanol (litros)	4620000
Precio de venta del etanol \$/lt	1,05
Ventas por etanol (USD)	\$ 2,425,500.00

Electricidad

kWh / tc	150
Electricidad producida	157500000
Costo del kWh vendido al SEN	0.08
% electricidad que se consume	30%
% electricidad a vender al SEN	70%
Ventas por electricidad	\$ 8,820,000.00
Ventas Totales	\$ 12,129,075.00
Recuperación de la Inversión (años)	1,86

PROPUESTA 3 CEC con destilería anexa

Aquí se utiliza el 75% del jugo para producir azúcar, 25% para producir alcohol, producción de electricidad a partir de las nuevas tecnologías.

Molida

Capacidad de molida tc/d	7000
Bagazo(ton)	262500
Cantidad de azúcar (ton)	86625

Precio de venta del azúcar \$/lb	\$ 0.17
Ventas por azúcar (USD)	\$ 1,325,362.50

Destilería

Cantidad de litros ton/caña	40
Cantidad de Etanol (litros)	1155000
precio de venta del etanol \$/lt	1,05
Ventas por etanol (USD)	\$ 606.375,00

Electricidad

kWh / tc	150
Electricidad producida	157500000
Costo del kWh vendido al SEN	0.08
% electricidad que se consume	30%
% electricidad a vender al SEN	70%
Ventas por electricidad	\$ 8,820,000.00
Ventas Totales	\$ 10.751.737,50
Recuperación de la inversión (Años)	2.10

PROPUESTA 4 CEC con destilería y planta anexas

En esta propuesta se utilizarán los datos de la variante 1 de utilizar 25 % de jugo para azúcar y el resto para alcohol, además de las facilidades de la planta anexa. Los datos de la planta a continuación se tomaron de [17] instalación existente actualmente en México.

Costo de la planta \$ 15, 000,000.00

Tiempo de zafra

En este tiempo la planta trabaja con el bagazo producido por el central y a la vez le entrega vapor al mismo para el proceso de fabricación de azúcar

Potencia total (kW)	46759
Consumo propio	14500

Potencia a entregar al SEN	32259
Precio kWh	0.08
Ventas por electricidad	\$9,290,592.00

Tiempo de no zafra: En este tiempo la planta trabaja con otro combustible alternativo, o puede trabajar con alcohol almacenado del tiempo de zafra, o alguna otra biomasa.

Días de no zafra	180
Potencia total (kW)	68681
Consumo propio	4500
Potencia a entregar al SEN	64181
Precio kWh	0.08
Ventas por electricidad	\$924,206.40

A continuación se muestran los resultados obtenidos sumando los totales de las 2 etapas (la de zafra y la de no zafra) de la planta anexa con los totales para alcohol y azúcar de tiempo de zafra, así como el tiempo de recuperación de la inversión.

Ventas con Planta anexa	\$ 29.786.535,90
Costos totales con Planta anexa	\$ 37,500,000.00
Recuperación inversión (Años)	0.91

2.7.2 Comparación de casos.

Al parecer matemáticamente la alternativa 4 es la más rentable pues el período de recuperación de la inversión es mucho menor, pero se debe analizar cuidadosamente el combustible alternativo para tiempo de no zafra, pues si se continúan quemando fósiles a sabiendas de su corta vida, se sigue fortaleciendo el calentamiento global, el aumento del nivel del mar, y la extinción de numerosas especies vivas. Por lo tanto debemos lograr primero el tránsito hacia la sustentabilidad energética primero y después hacia el desarrollo). Es la creación de una nueva cultura que centre su atención en la supervivencia del hombre, las especies vivas y el planeta, empleando de manera prudente los

recursos para evitar la destrucción del hábitat, en nombre del bien común de la sociedad y el entorno.

2.8 Riesgos. Atenuantes.

Las fábricas que se queden en su esquema tradicional de solo azúcar, podrían dejar de ser rentables, por tanto pudieran desaparecer si se produjera una nueva gran caída de los precios.

Las fábricas que logren la venta de electricidad y de etanol, no tienen riesgos, pues serán rentables energética y económicamente y más amigables al medio ambiente y al turismo que las que trabajen con fósiles, y sobre todo más flexibles para enfrentar alguna disminución de precios por debajo del costo de producción.

Estos nuevos ingenios tienen por ahora algunas atenuantes las cuales están dadas fundamentalmente por la falta de caña existente en la actualidad, ya que a partir de el bagazo obtenido dependerá todo lo otro. Conociendo que en los últimos tiempos el rendimiento agrícola se ha mantenido entre (25-40 t/ha) cifra esta muy por debajo de otros países con altos rendimientos de hasta 140 t/ha [27]. Esta situación también afecta la producción actual y es de suma importancia lograr un aumento de este índice

2.9 Análisis de la variación de los precios internacionales

Antes de efectuar este análisis se deben tomar en cuenta algunos de los factores que provocaron la disminución de los precios del azúcar en el mercado mundial entre los cuales se tienen:

- Las altas producciones de Brasil y la India.

- La crisis económica de algunos países como la antigua URSS y otros ex socialistas que propició la disminución de los consumos.
- Los problemas de salud que se le achacan al azúcar, como la obesidad y las caries dentales entre otras.
- El proteccionismo de Estados Unidos y la Comunidad Europea.
- La competencia de los edulcorantes sintéticos y del jarabe de maíz.
- Los efectos en los suelos de la mecanización de la agrotecnia y la cosecha y el transporte y como consecuencia un aumento del costo del cultivo.
- El aumento de los precios de muchos insumos como consecuencia del aumento de los precios del crudo.

En el caribe insular, sin Cuba, se produjo entre 1960 y el 2000, un fenómeno, que se repitió en Cuba entre 1990 y el 2005, en el cual en la medida que creció el turismo disminuyó la producción azucarera, llegando en algunos países de área a desaparecer.

Algunas noticias recientes sobre los precios de estos tres productos pueden fortalecer lo que aquí se plantea, un ejemplo es el alcance de los precios más altos del azúcar en 25 años en New York. El precio del azúcar alcanzó el nivel más grande a en 25 años en la bolsa de Nueva York para el mes de marzo. El contrato se citó a 19,02 centavos dólar, 4,51% más de en el día anterior. Y hasta finales de mayo, principios de julio había un promedio de 17 centavos la libra.

El alcohol anhidro

El contrato durante febrero se negoció en la misma bolsa a \$1.105,00 el m3. En el artículo [9] son presentados los factores que tomaron al aumento del precio del alcohol, así como las perspectivas favorables para 2006.

El crudo

El barril para la entrega en marzo se negoció en EE. UU. a \$64,68, en el mes anterior era negociado a era a \$62,88.

Todos los datos anteriores nos demuestran la fuerza que van tomando estos productos en el mercado y su creciente consumo por parte de las mayores potencias mundiales.

¿Qué pasará con los precios del azúcar, etanol, y crudo en el futuro?

Parece obvio el uso energético de la caña en el futuro, destinándola a electricidad y etanol básicamente, pero ese mismo proceso se fortalecerá y estabilizará el precio del azúcar, pues están entre otros, los ejemplos de Brasil e Isla Reunión, por lo tanto existirá una alternativa coyuntural, para el comercio y para los ingenios en particular y por lo tanto quedará garantizado el mercado, ya sea en frontera o hacia el exterior.

Un grupo de circunstancias fortalecerá esa tendencia en los próximos años:

- El ambiente cada día más creciente en el mundo, de lucha contra la pobreza y el hambre y las desigualdades, que no podrá despreciar a la caña para azúcar como fuente de alimento y de trabajo honrado y productivo.

- El fortalecimiento del ALBA y el debilitamiento del ALCA contribuirá a la estabilización de precios más justos.

- El turismo ya tiene muchas de sus inversiones construidas y consolidadas y podrá dedicarse más financiamiento de nuevo a la caña.

Si Cuba siguiera disminuyendo su producción y tuviera que aumentar sus importaciones, no se podría despreciar el costo del transporte y los problemas que se enfrentan con este tema, bloqueo etc. Hoy mismo la tonelada producida en Cuba cuesta la mitad que comprada en el mercado mundial.

CAPITULO III

Investigación del impacto ambiental de las CEC

3.1 Introducción.

Un aspecto indisolublemente asociado a la energía es la contaminación ambiental que provoca, la cual constituye una de las consecuencias de la emisión de los gases del efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO) , que provienen en gran medida de la amplia variedad de actividades asociadas a la obtención, transformación y utilización de la energía.

3.2 Análisis del beneficio medioambiental.

El beneficio de estas instalaciones al medio lo ilustra el hecho de que cada vez que se utilizan apenas 5 toneladas de biomasa cañera se está dejando de emitir a la atmósfera 3.1 toneladas de dióxido de carbono por concepto de crudo sustituido, responsable del conocido efecto invernadero.

Se estaría avanzando hacia una industria productora de energía distribuida, en cogeneración de electricidad y vapor, más limpia y usando un combustible renovable, resolviendo así los problemas del crudo, así como sus altos precios, cumpliendo con el protocolo de Kyoto y fomentando un ambiente más limpio para el pueblo de Cuba y los visitantes extranjeros.

La falta de una ley de energía y de una organización que vele por el medio ambiente de la Cuba del futuro es una de las barreras más fuertes, al extremo que todavía el KWh. generado con fósiles se le paga más caro al SEN que el que se le vende generado con caña renovable, más limpia y en régimen de cogeneración.

Por otra parte, la utilización de la biomasa cañera con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- **Disminución de las emisiones de CO₂**

Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO₂, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.

- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.
- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios.
- Los cultivos energéticos sustituirán a otros cultivos en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola pues permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Por otra parte la crisis del crudo han contribuido a fomentar a escala internacional la preocupación por el uso de la energía renovable, lo que conduce, entre otras, a las siguientes propuestas:
 - Necesidad del incremento en la productividad de los recursos, desarrollando bienes en forma sostenible [26] o de productos ecoeficientes [6]
 - Empleo de la innovación industrial como parte del Desarrollo Sostenible [22]
 - Reducción en la intensidad del uso de los recursos, tomando en consideración el amplio potencial de reserva de que aún se dispone [23]
 - Búsqueda de nuevas fuentes de energía que utilicen combustibles a base de biomasa y celdas solares [5]
 - Empleo más eficiente de los portadores energéticos para la transportación [22].

Conclusiones

- Se podrá comenzar el tránsito hacia los nuevos ingenios apostando por las tecnologías que cuentan ya con resultado en otros países, enfatizando en las turbinas de extracción condensación y en las calderas de altos parámetros de presión y temperatura.
- De las cuatro alternativas analizadas en el trabajo, la variante 4 es la más económica, ya que requiere el menor tiempo de recuperación de la inversión efectuada. Aunque se debe tener en cuenta el combustible de la planta para el período de no zafra, para evitar seguir quemando fósiles. Preferiblemente otras biomásas.
- La disminución de los precios del azúcar en el mercado mundial, ya han pasado. La tendencia actual es al aumento de los mismos y aunque podrán volverse a caer, la mayoría de los productores se están preparando para la producción combinada de azúcar, etanol, electricidad, lo que evitará precios tan bajos como los de años anteriores.
- Los precios de los principales productos de estas instalaciones (azúcar, alcohol y electricidad) tienen un futuro garantizado ya sea en frontera o hacia al exterior, debido fundamentalmente a la escasez de combustibles fósiles, el fortalecimiento del ALBA y el crecimiento del mercado chino, potencia en desarrollo, con un alto nivel de población y que garantiza las operaciones de mercado con Cuba.
- El uso de la biomasa como fuente de energía en la industria azucarera es muy atractiva, no solamente como reemplazo de los combustibles fósiles, sino también como mejora de los problemas de emisión de gases contaminantes al medio ambiente.

Recomendaciones

- Cada instalación deberá tener una destilería anexa para la coproducción de alcohol y algunas una planta de generación de electricidad anexa, según las condiciones de cada lugar, y en tiempo de no zafra para las instalaciones que cuenten con plantas anexas podrán producir electricidad con el propio alcohol almacenado o con algún otro combustible o biomasa alternativa y de esta forma dedicarse a la venta de electricidad para el SEN en dicho período.
- Establecer un sistema que le permita a los ingenios cerrar su ciclo económico actual, para recuperarse y transformarse tecnológicamente en CEC.
- Elevar el rendimiento agrícola de la caña cuanto antes los problemas agrícolas existentes para sustentar los propósitos aquí planteados.

Bibliografía

1. Armas, C de. ; González, L.: "La caña de azúcar como fuente de energía", La industria de los derivados de la caña de azúcar, pp :57-89, Editorial Científico-Técnica, 1986.
2. Ávila Gonzáles, L. "Programa energético electricidad TAR II".Habana, Cuba, 2005.
3. Cabello, A.: "Hacia una estrategia del uso de la caña para alimentación animal", Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera, pp: 291-313, colección GEPLACEA, Serie diversificación, 1988.
4. Cuong-Viet, V., Kenmoku, Y., Takikawa, H. and Sakakibara, T. Considerable structures of power generation system with biomass for sustainable energy development in Vietnam. 14th European Biomasa Conference and Exhibition Bioamass for Energy Industry and Climate Protección. París, Francia, octubre del 2005.
5. Driscoll, W. "Combustibles para el futuro", Facetas, #130, pp :76-78, ene/94.
6. Fussler, C.: "The cure for Marketing Myopia: Meeting emerging Market Needs for EcoEfficient Products", UNEP Industry and Environment, vol 18, #4, pp:34-37, oct-dic/95.
7. Hugot, E.: "Manual para el ingeniero azucarero". Ed. Pueblo y educación, La Habana, 1980.
8. Lang T.: "Manual del contador de costos". Macchi. Buenos Aires. 1981.
9. Lee Burnquist, H.: "El futuro del alcohol a la cabeza energética".Brazil, 2006.
10. Llanes, J.: Torres, J.: "Caña de azúcar, ¿azúcar o energía? Hacia un sistema energético sustentable", Taller Económico ambiental, Kingston, Jamaica, 1994.
11. Lois, J.: "Preparación, almacenamiento y conservación del bagazo para la industria de derivados", Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera, pp: 39-62, colección GEPLACEA, Serie diversificación, 1988.
12. Magassiner, N.: "El diseño de calderas bagaceras con referencia específica para la cogeneración", Seminario Internacional de Generación Comercial de Energía Eléctrica en la Agricultura Cañera, pp.:179-199, jun/94.

13. Morand, A. "Bagasse cogeneration – Global review and potential". WADE, June 2004
14. Noa, H., et al. "Economía y desarrollo perspectiva de los Derivados de la Caña de Azúcar", La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar, pp :5-56, Editorial Científico-Técnica, 1986.
15. Novak-Zdravkovic, A. and De Ruyck, J. Small-Scale power generation from biomass. 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy Industry and Climate Protection. París, Francia, octubre del 2005
16. Obernberger, I. and Thek, G. Techno-economic evaluation of selected decentralized CHP application based on biomass combustion in IEA partner countries. Final Report. Bioenergiesysteme GmbH. Graz, Austria, march 2004.
17. Pérez, F.: Pérez L.: "Informe final sobre la posibilidad de cogeneración y venta de electricidad en el ingenio La Gloria S.A", Octubre 2002.
18. Revista Cogeneration & On-Site Power Production. Vol 2, #8, 2003.
19. Roque Díaz, P., Pérez Egusquiza, F., Rubio González, A., Verdecia Fonseca, A. The sucroenergy alternative for the sustainability of the Cuban energy supply system. 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy Industry and Climate Protection. París, Francia, octubre del 2005.
20. Rubio, A. y Colectivo. "Estado del arte en la cogeneración de electricidad en la industria de la caña de azúcar. Primeros pasos hacia una industria sucroenergética. Proceso de publicación. 2005.
21. Rubio, M. "Implementación de la exergoeconomía a una central energética cañera ", Trabajo de diploma Santa Clara, 2005.
22. Ruscoe, J.:"Energy Efficiency in Industry and Transportation", UNEP Industry and Environment, vol 13, #1, pp: 25-27, ene-mar/90.
23. Scoullos, M. J.:"Energy Conservation and Efficiency: A Safe Response to Global Warming and Other Environmental Problems", Industry and Environment, vol 13, #1, pp:6-8, ene-mar/90.
24. Sinclair, T. R., Anderson, D. L.:" Factores limitantes de la producción de caña de azúcar (III). Potencial teórico de producción", Sugar Journal, vol 59, #10, pp :8-9, mar/97.
25. Smidt-Bleek, F.:"Increasing Resource Productivity on the Way to Sustainability", UNEP Industry and Environment, vol 18, #4, oct-dic/95.

Bibliografía

26. Suares, R.: "Caña de azúcar: medio ambiente y desarrollo", Seminario Internacional de Generación Comercial de Energía Eléctrica en la Agricultura Cañera, pp:415-447, jun/94.
27. "Investmecapacity expansion in Brazil's sugar & ethanol sector. ".pdf, 2006.
28. Varios. "Entrevistas personales". 2006
29. Verdecia, A. y colectivo. "Barreras y oportunidades para la generación de energía utilizando Biomasa", Habana, 2005.
30. Waller-Hunter, J.: "Sustainable Production: The Corporate Challenge", UNEP Industry and Environment, vol 18, #4, pp :21-24, oct-dic/95.
31. WADE. World survey of decentralized energy: <http://www.localpower.org>.
32. <http://www.one.cu>. "Anuario estadístico de Cuba", 2004
33. <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/caña>. "Estudio de la fertilización con N, P, K para distintos escenarios"

Anexo 1: Comparación de cepas

Tipos de cepas	Pol (contenido de azúcar) (en %)	Rendimiento agrícola (en toneladas de caña por hectárea)	Rendimiento industrial (en toneladas de azúcar por hectárea)
C86-12	19.51	111.41	21.74
Ja60-5	19.12	57.35	10.97
C86-12	17.28	148.37	25.63
Ja 60-5	16.98	111.42	18.91
C86-12	19.00	74.96	14.24
Ja60-5	17.80	66.19	11.78

Fuente: Tuero, Susana (1999), La C86-12 una variedad con perspectivas, en *Revista Cañaveral*, Vol. 5, No. 2, Abril junio, INICA, p. 16]

Anexo 2: Ingenios azucareros paradigmáticos

Nombre de la instalación	Lugar donde se encuentra	Potencia instalada (MW). (P(bar) t(°C))	Producción específica de electricidad (kWh/tc)	Venta específica de electricidad (kWh/tc)	Combustible complementario
Bois Rouge	Isla Reunión	60 82 y 520	170	140	bagazo y carbón
Le Gol	Isla Reunión	64 82 y 520	190	160	bagazo y carbón
Le Moule	Guadalupe	64 80 y 520	190	160	Carbón
Belle-vue	Mauricio	71 80 y 520	200	170	bagazo y carbón

Todas estas instalaciones comenzaron sus actividades después del año 1992 y en el caso de Belle-veu en el año 2000. En la actualidad en la India y en Kenya se construyen alrededor de 6 nuevas instalaciones de este tipo en cada país, lo que demuestra los resultados económicos y medioambientales satisfactorios obtenidos en otros países.

Anexo 3: Resultados de la industria en la zafra 2005 y proyección para 2006 – 2008 [2].

Conceptos	UM	Zafra 2005		Proyección		
		Plan	Real	2006	2007	2008
Caña	MM TM	15.6	11.5	12.02	13.65	16.5
Energía generada	Gwh	519.6	380.9	424.5	514.6	621.6
Energía consumida del SEN	Gwh	29.9	47.6	23.5	19.11	20
Energía entregada al SEN	Gwh	86.2	60.1	82.9	124.2	180
Energía neta consumida por la industria	Gwh	463.3	368.4	365.1	409.51	461.6
Índice de generación	Kwh/tcm	33.3	33.1	35.3	37.7	42.1
Índice de consumo del SEN	Kwh/tcm	1.9	4.1	2.0	1.4	1.2
Índice de entrega al SEN	Kwh/tcm	5.5	5.2	6.9	9.1	10.9
Índice de consumo neto de la industria	Kwh/tcm	29.7	32.0	30.4	30.0	28.0
Autoabastecimiento de la industria (en zafra)	%	112.15	103.39	116.27	125.66	134.66
Energía excedente	Gwh	56.3	12.5	59.4	105.09	160

En la siguiente dirección se pueden encontrar páginas de cálculo, mediante las cuales se pueden determinar los costos del transporte y de la cosecha mecanizada para la caña.

<http://www.camecosugar.com/Tools/>