



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Departamento de Ingeniería Industrial

Trabajo de Diploma

Título: "Estrategia para integrar la producción de azúcar y derivados, sin agredir el medio ambiente en la E. A. Elpidio Gómez."

Autor: Yuniesky Torres Caballero.

Tutor: M.Sc. Fernando E. Ramos Miranda

Cruces, 27 de Mayo de 2009.

"Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución."

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mis padres y a mi esposa por su apoyo incondicional y demás familiares por guiar mis pasos por los caminos, con la equidad intelectual y porque su ayuda, siempre oportuna, en las horas más difíciles hizo que mis sueños se logaran. Le doy mil gracias a Fernando E.Ramos Miranda (mi tutor) y a todas aquellas personas que me brindaron su mano cuando más lo necesité.

Agradezco de forma especial al Comandante Fidel Castro Rúz y a la Revolución, por haberme dado la oportunidad de estudiar, graduarme del nivel superior para desempeñarme como Ingeniero Industrial y contribuir al desarrollo de nuestra sociedad.

DEDICATORIA:

A mis comprensivos padres, quienes siempre han sido el motor impulsor en toda mi labor profesional.

A mi esposa por su apoyo incondicional y a toda mi familia, que ayudó a hacer posible este sueño.

A todas aquellas personas que aportaron sus experiencias para que este trabajo se realizara y saliera adelante.

PENSAMIENTO:

“Nosotros les decimos a nuestros jóvenes estudiantes que el futuro está lleno de tareas, que el futuro está lleno de luchas que requieren conciencia, espíritu revolucionario y conocimientos.”

Fidel Castro Ruz.

SÍNTESIS:

La estrategia está sustentada en el crecimiento cañero que se tiene proyectada para la zona donde se ubican la E. A. Elpidio Gómez y las posibilidades que tiene el mismo para integrarse en una planta de derivados de alta tecnología.

En los balances se utilizan las capacidades instaladas al 85 %, considerando zafras de 130 días y la producción de derivados durante 300 días. El mercado a que se destinan las producciones después de satisfacer la demanda del MINAZ, es la venta en Moneda Librementemente convertible tanto en frontera como para la exportación empleando el puerto de Carúpano situado a pocos kilómetros del combinado industrial.

El sistema de producción es compatible con el medio ambiente al plantear soluciones para tratar los residuales que aportan aguas destinadas al fertirriego, abono orgánico, biogás y alimento para animales.

El aporte económico es considerable produciendo valores en producciones derivadas por más de 40 millones de pesos de los cuales el 60 por ciento corresponde a la producción de tableros, el 20 por ciento al combinado torula- carne y el 15 por ciento a la producción de alcohol etílico y sus derivados.

1.	INTRODUCCIÓN	
	1.1.	Problema de Investigación
	1.2.	Objetivo General
	1.2.1.	Objetivos específicos
	1.3.	Hipótesis de la Investigación
	1.4.	Diseño Metodológico de la Investigación
2.	CAPÍTULO 1. La Diversificación Azucarera. Estado del Arte.	
3.	CAPÍTULO 2. Análisis Y Determinación de las Oportunidades de Diversificación.	
	3.1.	Diagnóstico.
	3.1.1	Breve descripción del esquema térmico
	3.1.2.	Cálculo del flujo de jugo a Calentadores.
	3.1.3.	Balance Energético
	3.1.4.	Balance de Combustible
	3.1.5.	Análisis de los resultados del balance energético.
	3.2.	Proceso de Mejoras.
4.	CAPÍTULO 3. Elaboración del Plan de Oportunidades de Diversificación.	
	4.1	Toda la paja como combustible.
	4.2.	Alimento animal con paja.
	4.3.	Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación.
	4.4.	Venta de bagazo desmedulado.
	4.5	Planta de alimento animal miel – urea – bagacillo.
	4.6	Generar energía con bagazo sobrante.
5.	CONCLUSIONES	
6.	RECOMENDACIONES	
7.	ANEXOS	
8.	BIBLIOGRAFÍA	

1. Introducción:

Como se conoce la tendencia mundial de los precios del azúcar es bien inestable. Debido a ello las posibilidades de hacer rentables sus producciones es cada vez más difícil, por otro lado, el desarrollo de una empresa productiva está influido por un grupo de factores internos y externos a la misma. Si consideramos que el desarrollo es en el tiempo y no siempre conocemos como evolucionarán en el propio tiempo esos factores, lo más adecuado para asegurar un desarrollo exitoso es mantener una actitud activa que permita no sólo imaginar los diversos mundos en que nos podría tocar vivir sino también actuar sobre ese futuro y modificarlos a nuestra conveniencia.

La situación por la que actualmente atraviesa la industria de la caña de azúcar en el ámbito mundial es difícil. Nunca antes tuvo tantos problemas por enfrentar, como la escasez de capital, competencia de otros productos, y el impacto que la industria tiene sobre el ambiente.

El hecho de que la caña de azúcar haya sido siempre utilizada como materia prima para la producción de azúcar, contribuyó a crear la mentalidad de que la síntesis de Sacarosa es la característica más importante de esta planta.

Teniendo en cuenta que desde hace ya varios años, el azúcar viene enfrentando una situación muy crítica como producto de comercialización internacional; ha sido un interés de los países productores de caña de azúcar, el desarrollo de una estrategia para incrementar su competitividad que ha incluido como una acción fundamental: la diversificación de la industria, mediante el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para un elevado número de derivados y subproductos.(Ponce de León, Zedillo 1944)

El caso más conocido de utilización masiva de la caña para un uso distinto de la producción azucarera, es el conocido programa de alcohol carburante de Brasil.(CORREIA, L.E 1991)

Por otro lado, hasta hace unas décadas no se daba la debida importancia a los problemas de contaminación. Por este motivo, las industrias contaminaban a gran escala, y sólo hasta que las consecuencias fueron considerables se empezó a tomar conciencia. Lamentablemente la magnitud del problema es enorme, por lo que deben tomarse medidas radicales si se quiere acabar con él.

De igual forma, en el pasado las normas de calidad se concentraron principalmente en la función central del producto; pero actualmente, tanto en Europa como en América, los factores ambientales son ya una parte integral del proceso de valoración. El hecho, en apariencia sorprendente, no lo es tanto si se toma en cuenta que las normas de calidad han cambiado mucho en los últimos años. Hoy en día la calidad es todo lo concerniente a la satisfacción del cliente, y cada vez es mayor el número de consumidores que tienen interés en el perfil ambiental de un producto.

A su vez las legislaciones en materia ambiental son cada vez más severas y los grupos ecologistas ejercen una gran presión pretendiendo cambiar las actitudes de autoridades, productores y consumidores.

Es por ello que la industria de la caña de azúcar está obligada a hacer eficientes sus procesos e instalar producciones alternativas con las tecnologías que cuenta el país, para de esta manera optimizar el aprovechamiento y la protección de recursos naturales, y ser más competitiva en el mercado internacional.

Siendo la caña de azúcar una importante fuente alternativa de energía y debido a las grandes posibilidades de la producción de derivados de la industria azucarera, junto con la recuperación de la industria de crudos y refinados, es inminente la necesidad de acelerar aun en las limitadas condiciones actuales el proyectado desarrollo diversificado de la primera industria cubana, para ello es necesario en primer termino profundizar en los aspectos tecnológicos y económicos de cada una de las producciones, lo que sin duda es una tarea que tiene que ser abordada por especialistas de diferentes disciplinas que trabajen de forma armónica hacia un gran objetivo común.

Uno de los problemas de mayor importancia para el desarrollo económico de un país en el uso adecuado de sus recursos, por lo que el tratamiento del proceso inversionista en sus diversas etapas requiere de la atención de los especialistas.

1.1. Problema de Investigación

Nuestro país no está excepto de las problemáticas mencionadas anteriormente, es por ello que definimos para este trabajo como **problema científico**: “La inexistencia de un plan integrado a largo plazo de diversificación de la industria de la caña de azúcar en la EA. Elpidio Gómez sin agredir al medio ambiente”.

1.2. Objetivo General

Teniendo en cuenta lo antes expuesto nos planteamos como **Objetivo**: Diseñar un Plan de Diversificación en la EA Elpidio Gómez para garantizar el uso integral de la caña de azúcar mediante técnicas de gestión de procesos.

1.2.1 Objetivos específicos

- Realizar un análisis bibliográfico sobre los criterios expuestos por los diferentes autores donde se aborda la temática de la diversificación con las mejores alternativas.
- Realizar un diagnóstico de las oportunidades que posee la entidad para la diversificación.
- Analizar según las oportunidades de la entidad la mejor alternativa de diversificación a implementar.
- Proponer el plan de diversificación a corto plazo.

1.3 Hipótesis de la Investigación

La diversificación de la EA. Elpidio Gómez es factible, factible y oportuna.

1.4. Diseño Metodológico de la Investigación.

El presente trabajo cuenta con la siguiente estructura:

1. Introducción.
2. Capítulo 1. La diversificación Azucarera. Estado del Arte.
3. Capítulo 2. Análisis y determinación de las Oportunidades de Diversificación.
4. Capítulo 3. Elaboración del plan de oportunidades de diversificación.
5. Conclusiones.
6. Recomendaciones.
7. Anexos.
8. Bibliografía.

Para la realización del trabajo fue necesaria la utilización de un grupo de métodos y herramientas propias de la ingeniería industrial, las cuales son listadas a continuación:

- Observación Directa.
- Entrevistas y Encuestas.
- Mapas de Procesos.
- Métodos Estadísticos.
- Método de expertos.

- Votación Múltiple.

- Tormenta de Ideas.

- Microsoft Excel.

- SPSS Versión 15.

- Flujo gramas.

Capítulo 1: La diversificación Azucarera. Estado del Arte.

El concepto de diversificación ha ido evolucionando, desde producciones con tecnologías simples, hasta las más recientes, basadas en la química sintética, la biotecnología y en los procesos de obtención de nuevos materiales, en esta misma razón se ha pasado de índices de valores agregados de la materia prima de alrededor de 5 valores en los menos ventajosos hasta 20 en los productos de elaboración más complejos.

En el caso de Cuba, la diversificación azucarera responde a una estrategia puesta en práctica desde hace más de 30 años, lo que sitúa al país entre los más avanzados en la utilización de los subproductos de la industria y la agricultura de la caña de azúcar, iniciando un desarrollo industrial múltiple que ha tenido su fundamento científico en los resultados de las investigaciones de varias instituciones cubanas lideradas por el Instituto Cubano de la Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar, el cual ha divulgado a los especialistas cubanos y extranjeros los principales resultados de sus investigaciones.(GONZÁLEZ, E., , LABORDE, M & ACEVEDO, L 1999)

El desarrollo potencial de la industria a partir de la caña de azúcar, se fundamenta en las posibilidades de la biomasa como fuente de productos químicos y energía,(RUDD, D.F & C.C. WATSON 1980) y será económicamente factible sólo mediante una sólida integración agroindustrial, pues en la evolución del uso de los subproductos nos encontramos ahora en el momento de que las producciones derivadas comienzan a integrarse estrechamente con las azucareras, de modo que puedan aprovecharse las ventajas de una y otra producción desde el punto de vista tecnológico, energético, y de situaciones coyunturales del mercado azucarero donde los residuos agrícolas y efluentes industriales correctamente utilizados puedan pasar a jugar un papel importante en la competitividad de la industria de la caña de azúcar. Figura 1 y 2.

Fig. 1 Diagrama de un Ingenio Azucarero.

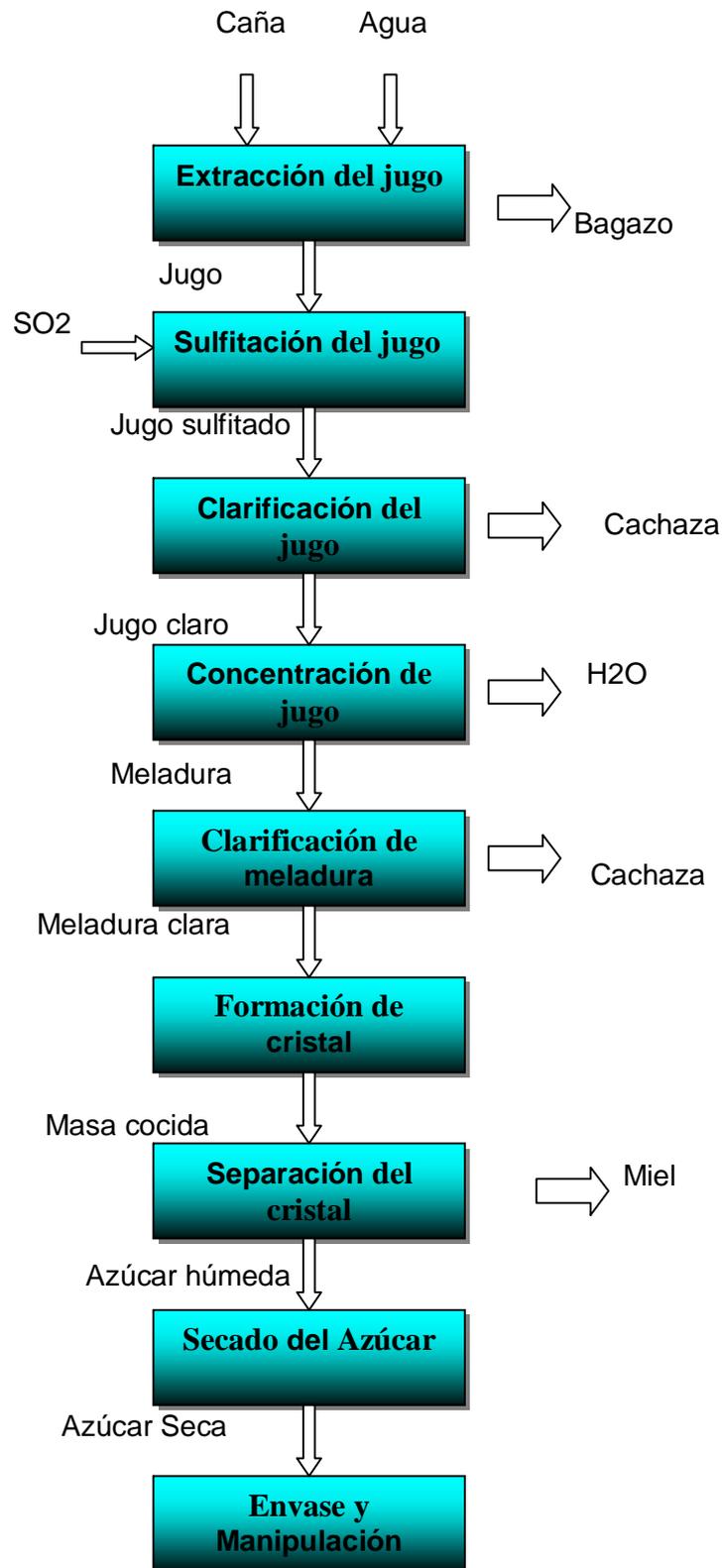
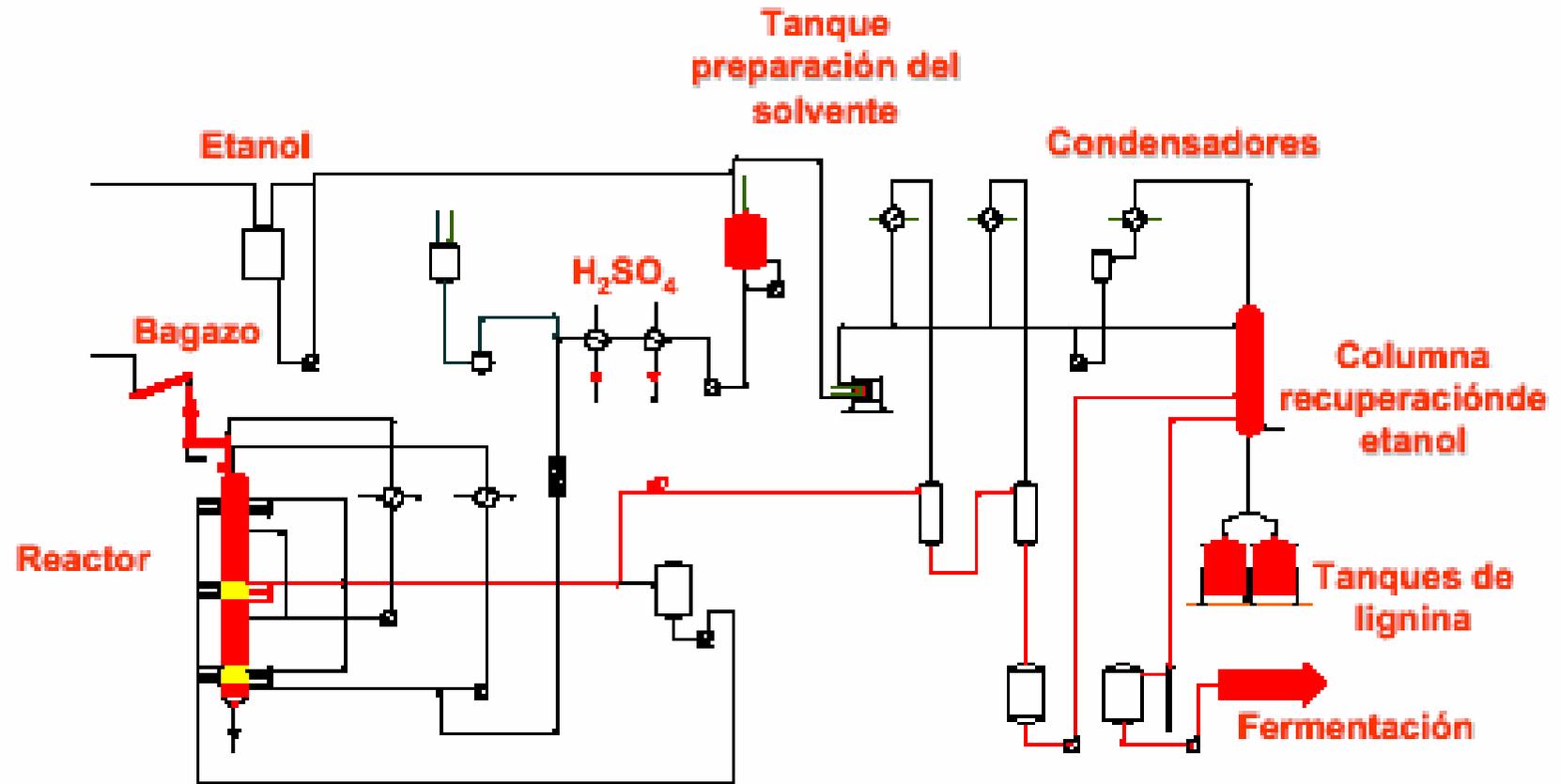


Fig. 2 Esquema de un combinado de Diversificación Industrial.



La matriz DAFO de la biomasa ha sido propuesta por Cunningham (RUDD, D.F & C.C. WATSON 1965) y ampliada por González como presentamos en la Tabla 1.

Tabla 1: Matriz DAFO de la biomasa.

<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <p>Recursos abundantes.</p> <p>Cadena insumo producto.</p> <p>Costos.</p> <p>Tecnologías Simples</p> <p>Estructuras de Costo que obliga al regionalismo</p>	<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <p>Escaso desarrollo de infraestructura tecnológica</p> <p>Problemas de integración energética no resueltos</p> <p>Cultivo cíclico</p>
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <p>Recursos subexplotados.</p> <p>Posibilidades de explotación colaborativa.</p> <p>Posibilidades de incorporación del valor agregado en la propia región.</p>	<p style="text-align: center;">Amenazas</p> <p>Que el valor agregado se incorpore fuera de la región.</p> <p>Limitaciones de capital para el desarrollo</p> <p>Competencia en el mercado de productos establecidos.</p>

La producción de derivados debe enfocarse, siempre que las condiciones lo permitan, combinada con la de azúcar a través de esquemas tecnológicos integrados, vinculados entre sí, desde el punto de vista del proceso y energético. Esto permitirá la utilización de los jugos más pobres de diferentes etapas de la molienda y de los filtros; para procesos fermentativos, el uso de las mieles intermedias en la alimentación animal y otras posibles combinaciones. Estos esquemas deben concebirse en forma de ciclos tecnológicos cerrados, de manera de aprovechar todos los residuos para su conversión en productos útiles, al mismo tiempo que reciclar las aguas dentro de las fábricas para evitar la contaminación ambiental.

En el aprovechamiento de las reservas energéticas de los procesos de producción de azúcar aparecen dos direcciones; la cogeneración y el uso eficiente del vapor, que a su vez permiten la obtención del bagazo sobrante. Las ventajas de la cogeneración ya fueron presentadas y son el resultado de obtener vapor en las calderas a mayores presiones y temperaturas, con lo que se incrementa la disponibilidad de la energía del vapor, es decir, la energía en la cogeneración proviene de la disminución del consumo específico de kg de vapor por Kw. - h.

El desarrollo de los derivados ofrece un variado número de alternativas, entre las que se puede seleccionar las más convenientes, de acuerdo con las condiciones locales, al mercado, y a las facilidades financieras. Los empresarios deben considerar la Diversificación como un complemento de la producción de azúcar que incrementara la eficiencia de la explotación de la caña, y dará mayor sostenibilidad a la economía azucarera.

El desarrollo de las producciones de derivados, induce un incremento en el nivel de contaminación, que puede ser eliminado o atenuado con un adecuado uso y rehúso del agua del proceso y la aplicación de los diferentes tratamientos que protejan el medio ambiente.

En un número importante de alternativas, en particular las referentes a la alimentación animal, las “economías de escala” deben responder a los volúmenes disponibles de materias primas en el lugar, de manera de minimizar la transportación y manipulación y reducir gastos asociados a estas operaciones. De igual forma las escalas estarán influidas por la demanda local de los productos, lo que permite costos más favorables de comercialización. Estas consideraciones no contradicen las economías de escalas mayores que imponen determinadas producciones con tecnologías de más complejidad y con intensidad de capital mayor.

Un caso tipo. Se está reportando la construcción de una planta de Biocombustible en la Hoya del Río Suárez, México, a partir del bagazo que resulta en el proceso de fabricación del azúcar de caña.

De esta manera, los volúmenes de bagazo que tradicionalmente son incinerados ocasionando por la emisión de monóxido de carbono grave deterioro al medio ambiente, serán ahora significativa fuente de ingresos que contribuirán a aliviar notablemente la calidad de vida de las familias cañicultoras, el sector campesino más deprimido económicamente en estas regiones.

Primera planta de etanol a partir del bagazo.

El proyecto experimental de CIMPA-CORPOICA que impulsó la construcción en un sector de Cite a orillas del río Suárez de la respectiva planta, ya produce etanol. Falta sólo perfeccionarlo hasta lograr el 99% de la pureza que exigen los estándares de calidad, para lo cual faltan dos grados. Este proceso de perfección en la calidad exigido por el Presidente Uribe Vélez como requisito para su inauguración, tardará todavía un mes y medio, aproximadamente. Así lo dijo a EL FRENTE David Manrique, Presidente de la junta directiva y representante legal en Barbosa

de CORPOAGRO, institución a cargo de este proyecto que es pionero en su género a nivel mundial.

Diversificación de la Agricultura cañera.

Hoy, un problema presente en el mundo es el incremento de la población, donde se prevén aumentos desde los 5 800 millones de habitantes hasta 8 300 millones en el 2025, frente a una disminución del área de la tierra cultivable cada vez mayor, lo que limita la disponibilidad de alimentos, no solo para la raza humana, sino también para los animales. No obstante el hombre dispone de conocimientos y tecnologías para sobreponerse a estas calamidades, aunque políticas oficiales estrechas y de reparto desigual de la riqueza, han provocado impactos ambientales negativos (FAO, 1996).

La investigación agropecuaria ha desempeñado un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en el desarrollo agrícola al elevar la producción de la agricultura para alimentar a una población en rápido crecimiento, los principales proyectos de la ganadería y la piscicultura han sido la contribución básica para el aumento del 80% de la producción mundial de alimentos desde mediado del decenio de 1960. (FAO, 1998).

Lamelas y col., (1993), plantean que la alimentación es el problema más difícil de resolver en los sistemas de producción con bajos insumos, donde los recursos materiales y financieros son deficitarios, lo cual impone como una necesidad el establecimiento de estrategias flexibles capaces de satisfacer los requerimientos de los animales. Por otra parte el potencial de producción de leche de los pastos y forrajes ha variado notablemente en los últimos años con la introducción de las nuevas variedades de Poaceas y leguminosas, al superar de 50 al 100 % la obtenida en los pastos naturales.

La antigua práctica de alimentar el ganado con caña de azúcar se ha extendido en los últimos 10 a 12 años hasta tal punto, que actualmente constituye la base de sistemas de producción pecuaria económicamente viables para rumiantes de gran tamaño (Preston, 1988). Esto se debe fundamentalmente a que las plantaciones de caña de azúcar son una realidad que está íntimamente entrelazada con el legado histórico de numerosas comunidades rurales en el trópico. Las poderosas fuerzas para acelerar la diversificación pueden ser absorbidas e integradas dentro de la infraestructura dedicada a la producción de caña (Alexander, 1988).

Preston (1989) planteó que el sector azucarero de América Latina y del Caribe ha desempeñado un papel predominante en el desarrollo económico y social de la región. En la actualidad hay una serie de factores que coadyuvan a restringir el desarrollo de la agroindustria, existe la convicción de que a través de la diversificación de la caña de azúcar se puede contribuir significativamente a su modernización y convertirla en una actividad de mayor rentabilidad. Países como Colombia, Brasil, y Costa Rica, sostienen que ya existen las bases biológicas para poder confiar en la caña de azúcar como reemplazo de los cereales en sistemas intensivos para las principales especies de animales, lo que permitiría liberar grandes volúmenes de alimentos a la población humana.

Se puede afirmar que la caña de azúcar ofrece grandes posibilidades para ser utilizada como forraje verde en la alimentación del rumiante, y su cosecha corresponde con el período menos lluvioso, además de su gran adaptabilidad a distintas condiciones edafoclimáticas del país y superando a todas las plantas forrajeras conocidas en producción de materia seca por hectárea (MS/ha) y energía metabolizable por hectárea (EM/ha). En resumen es el captador vivo de energía solar más eficiente, y almacena esa energía en una enorme cantidad de biomasa en forma de fibra y azúcares fermentables (FAO 1996).

Según el último censo de pastos en Cuba, la ganadería contaba con un área bruta total de 2 675 167 ha de las cuales el 97.4 % correspondía al área agrícola y de estas el 34.6 % estaba ocupado por pastos cultivados (Paretas, 1990). La distribución de estas áreas aparece reflejada en la figura 1, sin embargo es de destacar que alrededor del 40 % del área total se corresponde con suelos con problemas de retención de humedad (sequía) y el 30 % son de deficiente drenaje interno (mal drenaje (Paretas, 1990) .

En Cuba el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) fundado en 1964, posee una red de Estaciones Experimentales a lo largo del país y tiene entre sus objetivos fundamentales la obtención de variedades de caña de azúcar y su manejo agronómico, no solo para la producción de azúcar, sino también para la diversificación, y una de sus vertientes son las variedades destinadas para alimento animal. (Santana y col., 2002).

El proyecto experimental de CIMPA-CORPOICA que impulsó la construcción en un sector de Cite a orillas del río Suárez de la respectiva planta, ya produce etanol a partir de bagazo. Falta sólo perfeccionarlo hasta lograr el 99% de la pureza que exigen los estándares de calidad, para lo cual faltan dos grados. Este proceso de perfección en la calidad exigido por el Presidente Uribe Vélez como requisito para su inauguración, tardará todavía un mes y medio,

aproximadamente. Así lo dijo a EL FRENTE David Manrique, Presidente de la junta directiva y representante legal en Barbosa de CORPOAGRO, institución a cargo de este proyecto que es pionero en su género a nivel mundial

Biocarburantes: una estrategia poco aconsejable.

Los biocarburantes están jugando un papel importante en las políticas energéticas, tanto a nivel europeo como en las políticas estatales y autonómicas. En el 2003 la Unión Europea publicó una directiva (Ponce de León, Zedillo 1944) que establecía que el 2 y el 5,75% de toda la energía usada en el sector del transporte, respectivamente, entre los años 2005 y 2010, tenía que derivar de biocarburantes.

Se están llevando a cabo medidas en toda Europa para incentivar su uso. La nueva estrategia energética europea, presentada el 10 de enero 2007, establece que los biocarburantes deben representar, al menos, el 10% de la energía usada para el transporte.(CORREIA, L.E 1991)

Los biocarburantes todavía no son competitivos por sí solos con los combustibles fósiles. Por eso, se incentiva su uso de tres maneras:

- 1) Subsidios agrícolas otorgados por la Unión Europea en el marco de la Política Agraria Común.
- 2) Refiscalización.
- 3) Uso en proyectos pilotos por empresas de transporte público.

Estas tres medidas utilizan recursos públicos y, por esa razón, es necesaria una reflexión seria sobre si es aconsejable para los países del Sur, una expansión del sector de los biocombustibles o, si al contrario, otras estrategias posibles presentarían más ventajas y menos desventajas.

El argumento principal que justifica las políticas a favor de los biocombustibles se basa en el hecho que no aumentaría la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que el CO₂ que desprenden en la fase de combustión es la que han absorbido en la fase de crecimiento de las plantas gracias a la fotosíntesis.

Además, el uso de biocarburantes en vez de cierta cantidad de combustibles fósiles resolvería parte del problema de escasez de fuentes energéticas y de dependencia de las mismas.

Sin embargo, un análisis más atento del ciclo de vida de los biocarburantes nos revela que el ahorro no es tan grande como parece, y, en algunos casos, incluso puede ser costoso. De hecho, en general, las materias primas se obtienen con técnicas de agricultura intensiva, con uso de pesticidas y fertilizantes (que derivan del petróleo), y maquinarias (que son producidas e impulsadas con derivados del petróleo). Si no se hiciera así, los biocarburantes requerirían aun más tierra (siendo la productividad menor) y serían mucho más caros y mucho menos competitivos con los combustibles tradicionales. También, las fases de transporte, de procesamiento y de distribución requieren el uso de combustibles fósiles.

De todas formas, aunque se alcanzara el objetivo de la Directiva, el ahorro de energía y de gases invernaderos sería muy modesto. De hecho, como el sector de transporte es responsable del 30% del consumo final de energía, el 5,75% (fijado para 2010 por la CE) de la energía usada para el transporte corresponde al 1,8% del consumo final de energía. Teniendo en cuenta que esta cantidad requiere el uso indirecto de combustibles fósiles, el ahorro final sería aún menor.

Por ejemplo, tomando una relación entre unidades de biocarburantes producidas y unidades de energía invertida en el proceso de 2.5 (3), se obtiene que alcanzar el objetivo de la Directiva (aproximadamente 20 millones de toneladas de petróleo equivalente) implicaría un ahorro de alrededor de 36 millones de toneladas de CO₂ equivalente, es decir, menos del 1% de las emisiones de la Unión Europea (4.228 millones de toneladas de CO₂). Y si tuviéramos en cuenta las emisiones debidas al transporte de las semillas oleaginosas que serían importadas y las importaciones de alimentos que serían sustituidos por los cultivos energéticos, el ahorro sería menor, y si las materias primas fueran importadas de países extra europeos, el resultado podría ser incluso negativo.

Muchas veces también se dice que el biodiésel serviría para reducir la contaminación urbana. En realidad, las ventajas serían muy modestas. Por ejemplo, según un estudio llevado a cabo por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2002), si se sustituye el gasoil con una mezcla de biodiésel al 20% (B20), los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) aumentan un 2%, y las partículas en suspensión (PM), los Hidrocarburos (HC) y el Monóxido de Carbono (CO) disminuyen, respectivamente, un 10,1%, 21,1% y 11% (4) . Eso quiere decir que con una

mezcla del 5.75%, la reducción de PM, HC y CO sería, respectivamente, del 3%, 6% y 3% (y el aumento de NOx sería insignificante).

Frente a esas pequeñas ventajas, los costes en términos de necesidad de tierra cultivable para biocombustibles a larga escala serían muy preocupantes. Se ha calculado que para alcanzar la cifra del 5.75% se necesitarían 17 millones de hectáreas en Europa, es decir, una quinta parte del suelo agrícola europeo. Como no hay tanta tierra marginal o abandonada en Europa, la consecuencia sería la sustitución de cultivos alimenticios y un enorme aumento de las importaciones de alimentos.

La misma Comisión Europea es consciente del hecho que no es posible cultivar en Europa toda la materia prima necesaria para cubrir el 5,75% del consumo de energía en el sector del transporte. Por eso, en el Plan se afirma que las materias primas europeas tendrían que ser complementadas con importaciones de los países del Sur, donde la Comisión Europea quiere incentivar la producción de cultivos dedicados a la generación de energía.

Eso implica que los impactos negativos de la producción de cultivos energéticos se exportarían hacia los países del Sur. Si la demanda europea de biocombustibles aumenta, los países del Sur podrían ser estimulados a sustituir cultivos de alimentos y zonas forestales tropicales con grandes monocultivos de semillas oleaginosas, palmeras o caña de azúcar.

Las consecuencias serán una gran reducción de la biodiversidad, una reducción de la fertilidad del suelo, disponibilidad y calidad de agua y un aumento del uso de pesticidas y fertilizantes. Por ejemplo, las plantaciones de palmeras están incentivando la deforestación en el Sureste de Asia, y además provocan tasas de erosión del suelo muy altas. Entre 1985 y 2000 en Malasia las plantaciones de palmeras causaron el 87% de la deforestación total y ahora se planea deforestar 6 millones de hectáreas más para dejar espacio a las plantaciones de palmera.(GÁLVEZ TAUPIER, L. O 1988) Lo mismo pasa en Brasil con la caña de azúcar.

Además, teniendo en cuenta las emisiones de CO2 debidas al transporte intercontinental y el aumento de CO2 en la atmósfera debido a la deforestación (los árboles son sumideros de CO2), el resultado final podría ser un aumento de emisiones de efecto invernadero, en lugar de la deseada reducción.

Otra posible consecuencia negativa de un aumento de la producción de biocombustibles es el aumento en los mercados internacionales de los precios de las materias primas. Por ejemplo,

en México en los últimos meses el precio del maíz (un elemento base de la dieta mexicana) ha crecido un 30% a causa de la creciente demanda de maíz para producir bioetanol en EE.UU. México es un importador neto de maíz, y sus importaciones provienen sobre todo del país norteamericano.). Ya se ha empezado a usar el término “etanolinflación”.

Además, un sector a larga escala de biocombustibles implicaría el uso de grandes extensiones de monocultivos, con impactos ambientales negativos en términos de reducción de diversidad agrícola, erosión del suelo, uso de pesticidas y fertilizantes, etc.

Otra consecuencia preocupante podría ser el aumento del uso de organismos genéticamente modificados (OGMs). La soja, el maíz y la colza (que están entre las materias primas más usadas para producir biocombustibles) son, respectivamente, el primero, segundo y cuarto cultivo OGM más difundido.

Otro argumento usado a menudo a favor de los biocombustibles es el desarrollo rural. Sin embargo, las ayudas a los biocarburantes no deben convertirse en programas de ayuda a la agricultura. Si se quiere ayudar a los agricultores, los subsidios podrían ir a la producción de alimentos sanos y a la conservación de paisajes y de biodiversidad.

Concluyendo, usar dinero público para incentivar los biocarburantes no es una buena estrategia. Obviamente, estas consideraciones no incluyen el reciclaje de aceite usado y residuos agrícolas, cuyo uso para producir energía es aconsejable y tendría que ser promovido por dos razones: 1) reducir los costes y los impactos asociados a su eliminación; y 2) ahorrar energía.

Presentar los biocarburantes como la varita mágica que contribuirá a resolver contemporáneamente el problema del constante aumento del precio del petróleo, del cambio climático, de la seguridad energética y de la contaminación urbana podría resultar un discurso peligroso, además de falso, con el resultado de despertar falsas expectativas sobre una solución tecnológica al problema del excesivo uso de los derivados del petróleo. No hay que olvidar que el único camino es emprender con la máxima urgencia y seriedad unas políticas de reducción del uso de energía.

Caña de azúcar y energía.

Los procesos químicos comprenden una fuerte interacción entre la masa y la energía durante la producción del producto deseado. El objetivo general de los procesos es situar las masas a través de la planta. La energía se usa para llevar a cabo las reacciones, influir en las separaciones y para el funcionamiento de las bombas y los compresores. Esta matriz masa - energía determina el desempeño del proceso.

Por ello, una alta consideración en la estrategia de diversificación debe tener el eficiente aprovechamiento de la potencialidad energética de la caña, capaz de transformarse en cerca de 1 t de petróleo equivalente junto con cada t de azúcar que se produce. De toda esta reserva el central típico aprovecha menos del 50% de la energía que tiene la caña, aún cuando están disponibles tecnologías de más alta eficiencia.

La materia seca de la caña de azúcar considerada integralmente cuando se quema libera 4 250 Kcal. /kg, sobre la base de rendimientos agrícolas de 100 t/ha, se puede obtener hasta 149 millones de Kcal. /ha-año, equivalente a 14,9 t de petróleo, lo que evidencia que está entre los cultivos comerciales de más alta respuesta energética.

La optimización del uso y distribución de energía en un proceso químico se ha estudiado extensivamente en los pasados 20 años últimos. Este problema ha sido ya bien definido y comprendido.

En el aprovechamiento de las reservas energéticas de los procesos de producción de azúcar aparecen dos direcciones; la cogeneración y el uso eficiente del vapor, que a su vez permiten la obtención del bagazo sobrante.

El esquema energético de una fábrica de azúcar de caña tiene la característica de una gran demanda de energía térmica acompañada de baja demanda comparativa de energía mecánica lo que implica una alta disponibilidad de la primera para la cogeneración eléctrica, a eficiencias que al combinarse, superan a las que alcanzan las grandes termoeléctricas que operan condensando vapor.

La cogeneración es el resultado de una operación estable de la fábrica y de obtener vapor en las calderas a mayores presiones y temperaturas, con lo que se incrementa el aprovechamiento

de la energía del vapor disponible y las altas demandas de vapor de baja presión para el proceso.

Los numerosos estudios realizados y la práctica industrial, han demostrado que la industria de la caña de azúcar puede a través de la cogeneración y presiones adecuadas, entregar adicionalmente hasta 40 Kw. /h de energía eléctrica, por cada t de caña procesada en condiciones de una operación eficiente y un aprovechamiento de capacidad instalada estable y no menor del 80%.

Los principales productores de calderas, suministran instalaciones de vapor con índices de generación del orden de 2,2 kg de vapor por kg de bagazo con 50% de humedad y eficiencias del 80-84%, más alta que las tradicionalmente empleadas por la industria azucarera.

Un número significativo de fábricas de azúcar de caña en todo el mundo, muestran una eficiencia energética muy baja, empleando entre 550 y 650 kg de vapor/t de caña.

Está demostrado que en ingenios de caña de azúcar con esquemas energéticos eficientes, presiones por encima de 20 atm y operaciones estables, se pueden lograr consumos de vapor/t de caña del orden de los 370 kg y sobrantes de bagazo entre 20 y 30% del total entrado en fábrica.

Durante muchos años las fábricas de azúcar de remolacha, con procesos semejantes en el área de fabricación a los de azúcar de caña, han probado en la práctica, que los índices del vapor de proceso pueden ser del orden de 300 kg/t de remolacha y aún menores. La utilización de extracciones del evaporador, la eliminación de la válvula reductora mediante esquemas adecuados de cogeneración, son soluciones que permiten el incremento de la eficiencia.

Nuevos desarrollos en la generación de alta eficiencia de energía se vienen introduciendo con otros combustibles y comienzan a ser trasladados experimentalmente a la biomasa, estos son los vinculados a las turbinas de gas de ciclo combinado que permiten duplicar la eficiencia de aprovechamiento de los combustibles de los sistemas convencionales.

Esta tecnología puede multiplicar la generación de electricidad que hoy se alcanza en un central promedio llegando a valores de entrega de 200 Kwh. / t de caña, sin que este sea el límite de sus posibilidades, esto abre un nuevo horizonte del que no es posible mantenerse al margen.

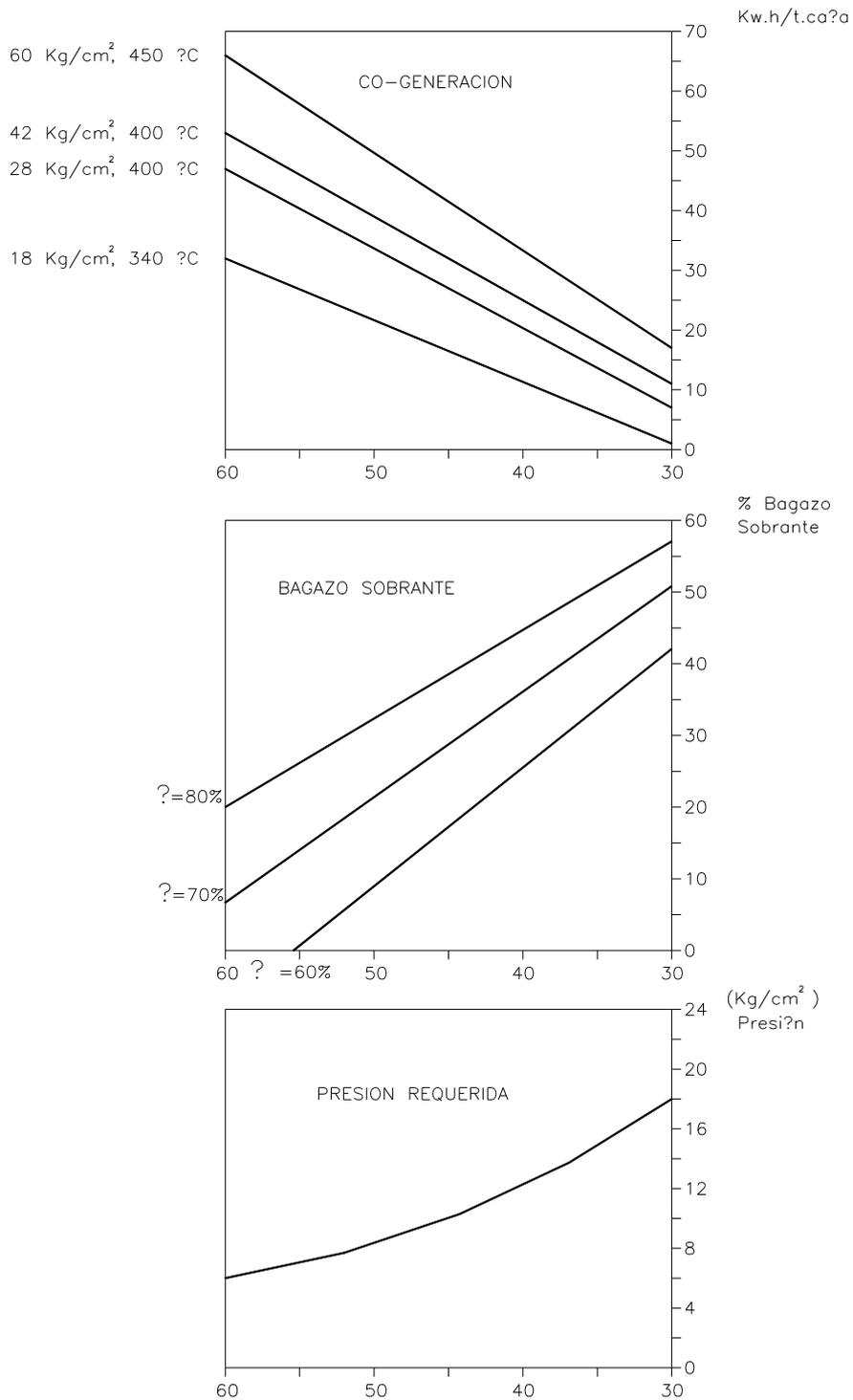
En la gráfica 3 se puede apreciar la interrelación entre presiones de vapor, eficiencia de uso del vapor con la cogeneración y los sobrantes de bagazo, todo esto tiene el comportamiento descrito, mientras la operación de la industria sea estable.

Una cuestión importante a valorar son las inversiones que resultan medianas cuando se busca bagazo sobrante para otros usos de derivados, pero grandes cuando se va la generación de energía eléctrica para su entrega a la red. En este caso ascienden a valores del orden de los 2 000 USD/Kw. de potencia instalada, la opción de adquisición de maquinaria de segunda mano en buen estado puede disminuir estos precios hasta un 50%.

Las inversiones en generación eléctrica muestran sus posibilidades mayores en los casos de esquemas de producción diversificada con la extensión de la zafra hasta unos 250 días.

Fig. 3 Interrelación entre presiones de vapor, eficiencia de uso del vapor con la cogeneración

VI. 1 GRAFICO DE LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA MARGINAL Y BAGAZO SOBRANTE PARA DIFERENTES EFICIENCIAS Y CONDICIONES DE CO-GENERACION



Las ventajas de la cogeneración son el resultado de obtener vapor en las calderas a mayores presiones y tem

peraturas, con lo que se incrementa la disponibilidad de la energía del vapor, es decir, la energía en la cogeneración proviene de la disminución del consumo específico de kg de vapor por Kw.-h.

Al implementar la tecnología de integración de procesos la instalación puede ser optimizada más efectivamente y pueden ser reducidos los programas generales del proyecto.

Es por ello que la integración material y energética ofrece alternativas atractivas de desarrollo diversificado, siempre y cuando se logre que de la caña de azúcar sea a la vez la fuente de la energía (eléctrica, vapor) y el consumo fundamental de materias primas.

El desarrollo de las producciones de derivados, induce un incremento en el nivel de contaminación, que puede ser eliminado o atenuado con un adecuado uso y rehúso del agua del proceso y la aplicación de los diferentes tratamientos que protejan el medio ambiente.

Aquí debemos considerar que los problemas ambientales en la industria de procesos químicos no pueden estar aislados de otros problemas de las fabricas, tales como energía costos y la tecnología de procesos, es por ello necesario introducir el concepto de Manejo Total de Desechos TWM (Total Waste Management). Donde desechos se refiere a cualquier actividad que produzca desechos o cualquier derroche de recursos en los procesos, lo que evita un desempeño óptimo. Este concepto, es mucho más general que el manejo de desechos convencional, el cual se centra fundamentalmente en la reducción del impacto negativo en el ambiente del proceso.

Precisamente, el desarrollo de los derivados ofrece un variado número de alternativas, entre las que se puede seleccionar las más convenientes, de acuerdo con las condiciones locales, al mercado, y a las facilidades financieras. Los empresarios deben considerar la diversificación como un complemento de la producción de azúcar que incrementara la eficiencia de la explotación de la caña, y dará mayor sostenibilidad a la economía azucarera.

Debido a las características de la caña como fuente eficiente de energía metabolizable, ésta posee condiciones especiales para dar respuesta a los requerimientos de la alimentación animal, usada directamente o utilizando los residuos de la cosecha y los subproductos industriales. Resulta ventajoso en esta alternativa, la circunstancia de que las inversiones, en la mayoría de los casos, no son altas y que las instalaciones no resultan complejas. A estas cualidades es necesario agregar el hecho de que los cultivos e instalaciones para producir

azúcar, se encuentran dispersos por diferentes áreas agrícolas, donde generalmente hay ganadería de diversos tipos o resulta ventajoso su fomento.

No se puede olvidar, que en un número importante de alternativas, en particular las referentes a la alimentación animal, las “economías de escala” deben responder a los volúmenes disponibles de materias primas en el lugar, de manera de minimizar la transportación y manipulación y reducir gastos asociados a estas operaciones. De igual forma las escalas estarán influidas por la demanda local de los productos, lo que permite costos más favorables de comercialización. Estas consideraciones no contradicen las economías de escalas mayores que imponen determinadas producciones con tecnologías de más complejidad y con intensidad de capitales mayores.

Siendo la caña de azúcar una importante fuente alternativa de energía y debido a las grandes posibilidades de la producción de derivados de la industria azucarera, junto con la recuperación de la industria de crudos y refinados, es inminente la necesidad de acelerar aun en las limitadas condiciones actuales el proyectado desarrollo diversificado de la primera industria cubana, para ello es necesario en primer término profundizar en los aspectos tecnológicos y económicos de cada una de las producciones, lo que sin duda es una tarea que tiene que ser abordada por especialistas de diferentes disciplinas que trabajen de forma armónica hacia un gran objetivo común.

El Análisis de Procesos en la diversificación de la Industria de la Caña de Azúcar.

En una correcta estrategia de diversificación de la industria de la caña de azúcar, no podemos olvidar, que una impronta de la “época es que la tecnología incide cada vez mas en las posibilidades empresariales, pero como se sabe el desarrollo tecnológico de la industria Química, está vinculado también a la incertidumbre,(GONZÁLEZ, E 1995)(GONZÁLEZ, E., , LABORDE, M & ACEVEDO, L 1999) por lo que se requiere pasar de la perspectiva tecnológica tradicional que no posibilitó el desarrollo a una prospectiva tecnológica que puede interpretarse en:

Búsqueda de posibilidades.

Exploración de nuevos campos.

Localización de recursos.

Que tendrá que descansar necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa, para lo cual debería cumplirse una Previsión global, cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción.

Coincidente con esta necesidad práctica, el Análisis Complejo de Procesos a través de su complejidad ha venido abordando con éxito la consideración de la incertidumbre tanto de la disponibilidad del equipamiento como de los parámetros de operación de equipos e instalaciones industriales o para determinar la necesidad de la profundización científica a través de investigaciones previas basadas en los trabajos de los clásicos, de manera que ya no es concebible un Análisis de Procesos de aplicación real y con verdadero fundamento científico que no considere la incertidumbre (GONZÁLEZ, E., , LABORDE, M & ACEVEDO, L 1999). Rudd y Watson aconsejan considerar la incertidumbre en (RUDD, D.F & C.C. WATSON 1980).

Los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de los productos.

El entorno.

Los parámetros tecnológicos.

La disponibilidad de los equipos

Por lo que no es posible realizar un estudio de Prospectiva Tecnológica sin considerar los modernos métodos de Análisis Complejo de Procesos.

Como antecedentes y referidos en la mencionada obra en la literatura científica internacional aparecieron entre otros, trabajos como los de los mismos autores, sobre las correcciones en la incertidumbre de los proyectos (RUDD, D.F & C.C. WATSON 1965) el de TWADDLE y MALLOY, considerando la dinámica económica en la evaluación de una nueva planta química, el de VILLADSEN acerca del sobre diseño de una columna de destilación, el de KITTRELL y WATSON analizando el diseño de un reactor agitado en presencia de incertidumbre sobre la velocidad de reacción química, el del propio RUDD sobre la teoría de la fiabilidad en el diseño de sistemas de la industria química, y junto con SMITH sobre el efecto e las variaciones del tiempo de los procesos discontinuos en el comportamiento de procesos.

Posteriormente han aparecido otros trabajos dirigidos a la consideración de la incertidumbre en la estrategia de procesos químicos, entre los que resaltan entre otros: la obra de HIMMELBLAU

condensando toda una experiencia en la detección y diagnóstico de fallas en la industria química, así como los trabajos de COPEN, ROSE y BELL sobre la problemática de la planificación y la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, BOYCE tratando los problemas de fiabilidad de un compresor centrífugo en línea, el de GRUHN, SCHMIDT ; MAVER sobre el análisis de la fiabilidad en una instalación industrial, el trabajo de GALLS y KOVACS sobre la fiabilidad de los procesos de la industria química, los de WATANABE/, /HUANG, BRESTOVANSKY y RIPPIN, así como el de LAFFERRE sobre Gerencia e Incertidumbre; el de SCHOLZ, HITTORFF ; y SCHERCKER sobre el diseño óptimo de instalaciones de la industria química considerando la fiabilidad y disponibilidad de los equipos y de BADEA en lo referente a los balances de materiales y energía considerando la incertidumbre, igualmente el trabajo de DOUGLAS sobre el diseño y escalado de procesos en condiciones de incertidumbre; en Cuba resaltan entre otros, los esfuerzos de (GALLARDO, I 1980), (ROSA DOMINGUEZ, E 1996), (PEDRAZA GARCIGA J 1997), y (FUENTES MORA, M 1997) resumidos y propuestos por GONZALEZ en la consideración de la incertidumbre en la estrategia de procesos y en particular en la diversificación de la industria de la caña de azúcar (GONZALEZ SUAREZ, E. 1999), lo que sin duda es una de las tareas científicas necesarias para la aplicación de los métodos del Análisis Complejo de Procesos en las condiciones de un país en vías de desarrollo (GONZÁLEZ, E 1991) y específicamente en los estudios vinculados al desarrollo de la industria de la Caña de Azúcar (GONZÁLEZ, E 1996).

En correspondencia con lo anterior, no podemos dejar de mencionar acá, que en los últimos años han aparecido en el plano científico nacional varios reportes de resultados investigativos que tienen como factor común el enfoque globalizador e integrador en los estudios de perfeccionamiento de instalaciones industriales lo que fueron resumidos metodológicamente por (GONZÁLEZ, E 1991) y presentados con énfasis en la industria de los derivados de la caña de azúcar (GONZÁLEZ, E 1995), lo que al incluir los estudios en condiciones de incertidumbre ha presentado un planteamiento metodológico que implemente los estudios de prospectiva tecnológica a través del Análisis de Procesos en condiciones de incertidumbre (GONZALEZ, E. 1997).

Es no obstante significativo, el esfuerzo que se ha realizado en los análisis de alternativas para el desarrollo integrado de la diversificación de la industria de la caña de azúcar, entre los que se destacan, los trabajos de Rosa Domínguez en la búsqueda de un método integrados considerando la disponibilidad de los equipos (ROSA DOMINGUEZ, E 1996), los planteamientos de Fuentes Mora en la determinación de la incertidumbre en el diseño de un combinado integrado de producción de acetal a partir de caña de azúcar (FUENTES MORA, M

1997), las alternativas para la integración material y energética de una destilaría de alcohol a una fábrica de azúcar aprovechando el uso de varios sustratos propuesto por De la Cruz Soriano y el estudio sobre las posibilidades prospectivas de integración material y energética de una industria productora de papeles para ondular con una fábrica de azúcar mediante el empleo del pulpeo de bagazo utilizando bioetanol que ha sido abordado por (PAJON POBLET, M 1998), el estudio de las posibilidades de producción de PVC de forma integrada a una fábrica de azúcar estudiada por (LUGO RUIZ, L 1996) y (MACHADO BENAVIDES, S 1998), así como el estudio sobre las posibilidades de producción de bioetanol y levadura torula asociada a dos fábricas de azúcar una de las cuales produce azúcar refino (MACHADO BENAVIDES, S 1998) las cuales han seguido la concepción de análisis multilateral propuesta por González y colaboradores (GONZÁLEZ, E. & M. B. REYES, E. ROSA 1997) para el estudio de alternativas de integración material y energética en el desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar y que está en perfecta correspondencia con la estrategia propuesta por el ICIDCA en relación a la diversificación de la industria de la caña de azúcar (GÁLVEZ, L. 1996) y en específico sobre los esquemas flexibles para la producción de azúcar, derivados y energía (GALVEZ TAUPIER, L 1997).

Lo cual indudablemente ha estado respaldado por un copioso trabajo investigativo profundizando en el conocimiento tecnológico de los procesos involucrados con gran hincapié en los consumos materiales y energéticos con diferentes sustratos, así como en la incertidumbre presente en las alternativas disponibles en la operación y el diseño de las instalaciones (REYES ESTRADA, R. 1998), (SANTOS, R., E. PÉREZ, E. ROSA & PEDRAZA, J s.d.), (FABELO, J 1999).

Además internacionalmente, se han planteado a través de los proyectos CYTED y del esfuerzo individual de colectivos de investigación varios resultados que propician Proyectos de colaboración para estudiar la integración de estas industrias no solo en el plano energético, sino también mediante la obtención de productos químicos de uno para el otro (LABORDE, M 1996), (GONZALEZ, E 1998), verificándose sus posibilidades a partir un adecuado estudio de la matriz DAFO de la caña de Azúcar.

La Matriz DAFO de la industria azucarera se debe construir a partir de las siguientes amenazas, debilidades, fortalezas y oportunidades (GONZÁLEZ, E 1996).

AMENAZAS.

Disminución del precio del azúcar.

Pérdida de Mercado de derivados.

Aumento del Precio de materias primas para la producción de derivados.

Aumento del precio del petróleo.

DEBILIDADES.

Poca utilización de las capacidades instaladas.

Altos costos de producción de azúcar y derivados.

Deficiente sistemas de calidad.

Deficiencias en el mantenimiento.

Problemas de contaminación ambiental.

FORTALEZAS.

Alto grado de capacitación del personal para operar plantas de derivados.

Concentración de la fuerza laboral con participación.

Biomasa como fuente renovable de productos químicos y energía. Posibilidades de la ruta Alcoquímica.

OPORTUNIDADES.

Auge de la política Nacional sobre producción de derivados.

Inserción de Empresas en proyectos nacionales e internacionales.

Colaboración internacional de varias Instituciones de Investigación y Desarrollo a través de Proyectos Bilaterales o Multilaterales (CYTED, ALFA, Otros).

Oportunidades de negocios con empresas de derivados de la caña de azúcar.

En los Análisis de Procesos debemos considerar los métodos generales, estrategias y modelos para la optimización, con vistas a la elaboración y evaluación de nuevos objetivos parciales, siendo un estímulo fundamental para la realización de los Análisis Complejos de Procesos los trabajos que reflejan una amplia investigación sobre el comportamiento global de los procesos tecnológicos. Por otro lado debe tenerse en cuenta, el hecho de que con el conocimiento sobre la gran información necesaria para los Análisis Complejos de Procesos y su significación en la seguridad de los resultados, ha aumentado en los últimos años la necesidad de la vinculación con el problema de la indeterminación de la información y el desarrollo de métodos de decisión

en los procesos en condiciones de incertidumbre, así como otros relacionados con la aplicación de la computación al Análisis Complejo de Procesos.

Por otro lado, el término “prospectiva”, expresa la idea de búsqueda de posibilidades, exploración de nuevos campos, localización de recursos.

En efecto, este concepto, que adelanta al más tradicional de pronóstico, que se refiere esencialmente al conocimiento de antemano de qué puede ocurrir, pero sin una posición proactiva o de acción modificativa del posible curso de los acontecimientos.

Cuando a la función “prospectiva” se le adiciona el calificativo de “tecnológica”, obedece a dos causas principales; la primera es que el factor tecnológico, entendido aquí como innovación tecnológica, constituye un componente esencial del logro de la competitividad; la segunda razón, debido a la debilidad crónica que, en general, se presenta en este aspecto clave de la efectividad y la competencia en los países no desarrollados.

En 1977, Michel Godet, caracteriza, en forma muy sintética, los principales rasgos distintivos de los enfoques de la previsión “clásica” y de la “prospectiva” y define este último término como previsión global, cualitativa y múltiple.

Diversificación y medio ambiente.

Un aspecto indisolublemente asociado a la industria azucarera y a la energía es la contaminación ambiental que provoca, la cual constituye una de las causas de emisión de los gases del efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO), que provienen en gran medida de la amplia variedad de actividades asociadas a la obtención, transformación y utilización de la energía.

Por otra parte la crisis del petróleo de 1973 contribuyó a fomentar a escala internacional la preocupación por el uso de la energía, lo que conduce, entre otras, a las siguientes propuestas:

- necesidad del incremento en la productividad de los recursos, desarrollando bienes en forma sostenible o de productos ecoeficientes.
- empleo de la innovación industrial como parte del Desarrollo Sostenible.

- reducción en la intensidad del uso de los recursos, tomando en consideración el amplio potencial de reserva de que aún se dispone.
- búsqueda de nuevas fuentes de energía que permitan ampliar su número y la utilización de los combustibles a base de biomasa y celdas solares.
- empleo más eficiente de los portadores energéticos para la transportación.

Dentro de este panorama de indispensable incremento en la eficiencia en el uso de portadores energéticos y en la búsqueda de fuentes de energía alternativas, una de las ramas de la agricultura que resulta atractiva para este propósito es la agroindustria de la caña de azúcar atendiendo a que: un buen número de países producen azúcar a partir de caña; este cultivo brinda diversas alternativas para la obtención de energía de manera renovable y a la alta eficiencia de esta gramínea en la producción de biomasa a partir de la energía solar.

Tomando en cuenta los aspectos señalados, en este trabajo se propone un método para estimar la fijación de CO₂ durante la formación de biomasa cañera, el cual se utiliza para ilustrar el balance de CO₂ (emisión - fijación) en un esquema de producción de: azúcar - electricidad - biogás, cuyo balance de energía (entrega-demanda) también se determina y analiza.

Disponibilidad energética de la caña de azúcar.

Las plantas que existen sobre la superficie de 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. Mediante este proceso natural la energía se almacena en forma de biomasa, se libera oxígeno hacia la atmósfera y se fija dióxido de carbono, como se ilustra en la siguiente representación esquemática.



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 y 1.1% en campos bien atendidos con regadío.
- tiene un rendimiento potencial genético que se encuentra entre 200-300 t/ha [11] con un máximo teórico de 233 kg que compara ventajosamente con otros cultivos.
- para un valor calórico de 17476 MJ/kg de materia seca (MS), con un contenido de MS del 30% y un rendimiento de 100 toneladas de caña integral por ha, la producción energética de la caña es 20 veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla en el ingenio.
- como promedio pueden emplearse las siguientes relaciones de sustitución:
 - 5.2 toneladas de bagazo 50% de humedad por tonelada de petróleo (39.7 MJ/kg).
 - una tonelada de bagazo equivale a 231 m³ de gas natural.
 - cuatro toneladas de paja equivalen a una tonelada de petróleo [16] (calor de combustión de la paja 30% humedad: 11.7 MJ/kg).
- el valor calórico del bagazo (50% humedad) es de 7.64 Mj/kg, semejante al de la madera: 7.9 MJ/kg.

Conclusiones parciales:

1. La Gestión de Procesos puede ser aplicada a las investigaciones de Decisión de Alternativas. Los Programas de Diversificación de la caña de azúcar puede ser uno de los campos.
2. El Análisis de Procesos en condiciones de incertidumbre ha ido tomando espacio en el mundo, y se establece como una técnica a tomar en cuenta en las investigaciones actuales.

Capítulo 2: Análisis y determinación de las Oportunidades de Diversificación.

Durante la pasada etapa de reparaciones se llevó a cabo en esta Empresa un proceso inversionista que incluyó el montaje de dos Turbogeneradores de 3 000 Kw. de potencia cada uno y la electrificación del área de los molinos, por su impacto dentro del balance energético de la Industria se hace necesario la evaluación del esquema térmico para conocer el comportamiento que presentan los principales indicadores de eficiencia energética.

Un central se encuentra balanceado energéticamente cuando es capaz de satisfacer totalmente las demandas de energías térmicas y eléctricas del proceso productivo y lograr excedentes de bagazo que le permiten asumir las paradas y arrancadas de la Industria y aportar energía eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), para ello se hace imprescindible el uso racional y eficiente del vapor.

Baloh plantea que “en el caso de que la Industria tenga la posibilidad de entregar energía eléctrica a la red, se hace pasar todo el vapor vivo a través de la turbina, con lo cual se evita el proceso antieconómico de estrangulamiento, sin embargo la fabrica no puede comprometerse a entregar una cantidad constante de energía eléctrica a la red, a menos que se prevean las instalaciones necesarias para ello”...”para obtener la máxima cantidad posible de energía eléctrica a partir del vapor vivo, debe elegirse la presión más alta posible, por la misma razón se recomienda una baja presión de vapor de escape y turbinas con alto grado de eficiencia”, por lo que las alternativas propuestas en este trabajo se realizaron considerando este criterio debido al incremento de la capacidad instalada de generación eléctrica.

La evaluación del esquema térmico se realiza mediante la utilización de metodologías de cálculos de balances térmicos de la Industria Azucarera, principalmente del software TERMOAZUCAR, confeccionado por especialistas del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (ISPJAE), que permite simular el comportamiento de los sistema termoenergéticos azucareros para diferentes condiciones de operación, el cual ha sido probado con éxito en diferentes estudios realizados.

Los resultados obtenidos del balance térmico se corresponden con los parámetros de operación de cada equipo consideradas en cada caso, por lo que cualquier variación o alteración que se tenga de ellos (presión, temperatura, flujos, etc.) así como de la calidad de la materia prima

influyen en estos resultados, ya que el balance energético representa el comportamiento de los diferentes indicadores en un instante de tiempo y para las condiciones de trabajo asumidas.

Este estudio presenta como limitante que fue realizado durante el periodo inactivo por lo que fue posible determinar realmente los parámetros de operación de los equipos tecnológicos (presión, temperatura, etc.), estos fueron proporcionados por los especialistas y técnicos de las diferentes áreas así como los datos técnicos de cada uno. Los datos del proceso fueron suministrados por el Laboratorio, tomando el promedio de las 5 últimas zafras.

3.1. Diagnóstico.

3.1.1 Breve descripción del esquema térmico.

La Empresa Azucarera “Elpidio Gómez”, ubicada en el Municipio de Palmira, Provincia de Cienfuegos, posee una norma potencial de molida diaria de 2 875 t/día (250 000 @/día), en el área de Basculador y Tandem hay instalado un Juego de Cuchilla de Picar Caña y 5 Molinos; cada uno de estos es movido por motores eléctricos a 600 rpm, con una potencia eléctrica de:

- 400 Kw. para el primer Molino.
- 320 Kw. para el segundo y quinto Molino.
- 250 Kw. para el tercero y cuarto Molino.

El área de Generación de Vapor posee cuatro Calderas EVELMA, tres de 20 t/h y una de 22 t/h de capacidad, las que tributan vapor a una presión de 18 kg/cm² (250 psig) y 310 °C a la línea de vapor directo de la Planta Eléctrica, donde se instalaron dos Turbogeneradores de 3 000 Kw. de potencia a 6 300 volts, entregando el vapor a la línea de escape de 1,05 kg/cm² (15 psig).

En el área de Calentamiento de Jugo hay instalado 6 Calentadores Weber de 43 tubos por pases, existen 13 taponados por pases por lo que realmente son 30 tubos por pases, con tubos de 32 X 1,5 X 4 900 mm, el calentamiento se realiza de la siguiente forma:

- Primer calentamiento se realiza en un calentador líquido a líquido.
- Calentamiento primario con vapor de la extracción del primer vaso del Cuádruple Efecto.
- Calentamiento rectificador con vapor de la extracción del PRE-evaporador.
- Calentamiento de Jugo Claro.

El área de evaporación tiene instalado dos PRE-evaporadores con una superficie calórica cada uno de 10 800 pcsc (1 003 m²), que se alimentan de vapor de escape de la línea de 15 psig y

envían su evaporación a la línea de 5 psig de donde se alimentan la etapa de rectificación de calentamiento del jugo y los Tachos (existen 6). El Cuádruple Efecto posee una superficie calórica total de 29 000 pcsc (2 694 m²), que trabaja con vapor de escape y posee extracción del primer vaso a la etapa de calentamiento primario del jugo mezclado.

Existen dos Válvulas Reductoras de Vapor: una de 250 psig a 15 psig y la otra de 15 psig a 5 psig, para el completamiento de las demandas de vapor de los diferentes consumidores.

En la zafra, en el esquema térmico trabajaban con los dos PRE-evaporadores, esto era motivado, de acuerdo a lo planteado por el personal técnico y dirigente de la fábrica, porque con la evaporación de uno solo no se satisfacía la demanda de vapor, lo que demuestra la existencia de alguna dificultad que le impide lograr su operación eficiente ya que con la superficie calórica que posee es posible asumir con uno solo la molida diaria manteniendo una tasa de evaporación dentro de los rangos establecidos.

Es preciso realizar una inspección técnica al mismo para comprobar que mantenga las características técnicas de diseño, revisar la calandria por el lado de vapor para observar si posee incrustación que afecte la transferencia de calor y por tanto la bajo tasa de evaporación que logra, esta puede ser una causa posible teniendo en cuenta lo observado al desmontar la tubería de vapor de escape donde se detecta una gran incrustación que impedía el paso del flujo necesario, incrementando la velocidad y las pérdidas.

Esta incrustación se debe a la incorrecta instalación de la atemperadora y a la mala calidad del agua utilizada, para ello se recomienda el montaje de un atemperador intupible teniendo en cuenta los requisitos para su instalación y la utilización de agua de alimentar Calderas ya que la misma es un agua de gran calidad.

Analizando el esquema térmico vemos que con la utilización del Calentador Líquido – Líquido este se hace más eficiente obteniendo un consumo de vapor del proceso de un 43% de vapor en caña, de mantenerse este esquema para la próxima zafra se limitaría la generación de electricidad, por lo que consideramos no trabajar con este calentador para elevar el por ciento de vapor en caña y lograr una mayor explotación de la nueva capacidad instalada de generación en Planta Eléctrica de 6 000 kW.

El esquema térmico propuesto para las nuevas condiciones de trabajo, donde se elimina el calentamiento del jugo mezclado en el Calentador Líquido- Líquido y se realiza el calentamiento en tres etapas de la siguiente forma:

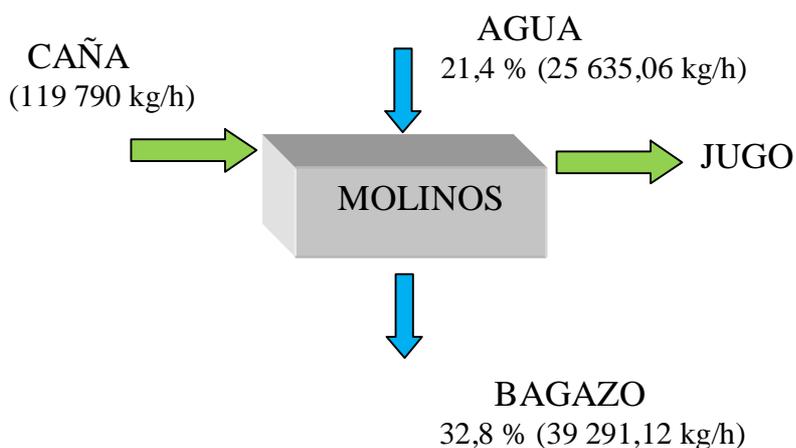
- Primera Etapa o Primaria con vapor de la extracción del I Vaso de Cuádruple Efecto.
- Segunda Etapa o Secundaria con vapor de la evaporación del Pre-evaporador.
- Tercera Etapa o Rectificadora con vapor de escape.

3.1.2. Cálculo del flujo de jugo a Calentadores.

Para el cálculo del flujo de jugo a Calentadores se realiza un balance de masas en el área de molino para la molienda de 2 875 t/día, datos utilizados:

Molida horaria	119,79 t/h
% Agua Imbibición	21,4%
% Bagazo en caña	32,8%
% Jugo de los Filtros	18%

Gráfico # 3: Balance Materiales Área Molino



$$\text{Caña Molida} + \text{Agua Imbibición} = \text{Bagazo de Caña} + \text{Jugo Mezclado}$$

$$119\,790 + 25\,635,06 = 39\,291,12 + \text{Jugo Mezclado}$$

Jugo Mezclado = 106 128 kg/h

El jugo que circula por los Calentadores es el Jugo Mezclado más el Jugo de los Filtros, considerando un 18 % de jugo Filtros, entonces:

Jugo Mezclado a Calentadores = 1,18 * Jugo Mezclado

Jugo Mezclado a Calentadores = 1,15 * 106 128

Jugo Mezclado a Calentadores = 125 231 kg/h

3.1.3. Balance Energético

2.3.1. Calentadores de Jugo

El calculo en esta área lo realizamos teniendo en cuenta la eliminación del Calentador Líquido – Líquido, por tanto se realiza el calentamiento del jugo mezclado en tres etapas de calentamiento más el calentamiento del jugo claro, para este se considera su flujo igual a la cantidad de jugo mezclado sin la incorporación del jugo de los filtros, o sea 106 128 kg/h.

Los Calentadores de Jugo son del tipo Webre modificados a Vampiro de tubos de cobre de 32 X 1,5 X 4 900 mm, 6 pases con 30 tubos por pases, con una superficie calórica de 88,67 m² (954,4 pcsc).

Como se aprecia la velocidad del jugo se mantiene por debajo de los rangos establecidos (1,5 ÷ 2 m/s) lo que favorece el incremento de las incrustaciones en las fluserías, lo que se puede corroborar por la cantidad de tubos que se encuentran tupidos por este concepto en los calentadores, el coeficiente de transferencia de calor que se obtiene es factible para este tipo de calentador, excepto en el calentador de jugo claro que se encuentra por encima de lo planteado en la bibliografía.

Tabla # 2: Resultados de la simulación en Calentadores de Jugo.

Parámetros	U.M	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Jugo Claro
Flujo de Jugo	Kg/h	125 231	125 231	125 231	106 128
Brix del Jugo	°Bx	14,95	14,95	14,95	14,77
Pureza del Jugo	%	85,23	85,23	85,23	85,2
Temp. Entrada Jugo	°C	35	70	88	98
Temp. Salida Jugo	°C	70	88	104	115
Vapor Procedente		I Vaso	Pre	Escape	Escape
Presión Vapor Calentamiento	psig	5	6	12	12
	psia	19,7	20,7	26,7	26,7
Temperatura Vapor	°C	108,5	109,9	117,7	117,7
Velocidad del Jugo	m/s	1,4	1,4	1,4	1,2
	ft/s	4,6	4,6	4,6	4,1
Coefficiente de Transferencia de Calor	Kcal./h.m ² .°C	857,04	799	1 036,5	2 253,3
	BTU/h. ft ² .°F	175,5	163,6	212,3	461,5
Consumo Vapor	t/h	7,5	3,9	3,5	3,2

psig --- Libras por pulgadas cuadradas manométricas.

psia --- Libras por pulgadas cuadradas absolutas.

ft² ----- Pies cuadrados

Estación de Evaporación y Tachos

El área de evaporación está compuesta por dos Pre-evaporadores de 10 800 pie² de superficie calórica (1 003 m²) cada uno y un Cuádruple Efecto con una superficie calórica total de 29 000 pcsc (2 694 m²)

Los cálculos se realizan utilizando un solo Pre-evaporador ya que posee una superficie calórica capaz de satisfacer la demanda de vapor del calentador secundario (segunda etapa de calentamiento) y los Tachos manteniendo una tasa de evaporación dentro de los límites establecido para este tipo de equipo evaporativo. Los datos de operación de los equipos utilizados fueron proporcionados por los técnicos y especialistas del área. En la tabla # 2 se pueden apreciar los resultados del balance.

Tabla # 3: Resultados de la simulación de la Estación de Evaporación.

Parámetros	UM	Pre	Vaso I	Vaso II	Vaso III	Vaso IV
Jugo Entrada	t/h	106,128	79,16	60,9	49,4	37,5
Jugo Salida	t/h	79,16	60,9	49,4	37,5	24,5
Brix Entrada	%	14,77	19,8	25,7	31,6	41,7
Brix Salida	%	19,8	25,7	31,6	41,7	63,8
Presión Calandria	psig	12	10	5	0	14" Hg.*
	psia	26,7	24,7	19,7	14,7	7,82
Presión Cuerpo	psig	6	5	0	14" Hg.	26 " Hg.
	psia	20,7	19,7	14,7	7,82	1,93
Superficie Calórica	pie ²	10 800	9 000	8 000	6 000	6 000
	m ²	1 003	836,1	743,2	557,4	557,4
Tasa Evaporación	lb/h.ft ²	5,59	4,53	3,2	4,46	4,84
	Kg/h.m ²	27,3	22,1	15,7	21,8	23,7
Coeficiente de Transferencia Calor	BTU/h.ft ² .°F	398,6	391,9	216,6	165,1	80,4
	Kcal./h.m ² .°C	1 081,3	1 063,1	587,7	447,8	218,09
Evaporación	t/h	26,9	18,2	11,4	11,9	12,9
Consumo Vapor	t/h	27,8	19,2	11,2	11,4	11,9

Consideramos que para los objetivos de éste trabajo es suficiente considerar el área de tachos como un tacho equivalente, sin necesidad de entrar en detalles del tipo de templa, cantidades, etc. Hacemos notar que aunque los resultados muestran un valor fijo, que llamaremos "nominal", en la realidad el comportamiento de éstos equipos no es tan simple, se trata de los equipos más discontinuos dentro del proceso lo que repercute necesariamente y con bastante peso sobre el comportamiento energético de la fábrica en general.

Al realizar el cálculo del módulo correspondiente al área de Tachos, donde tiene en cuenta el flujo de meladura, brix y pureza de la miel final y el azúcar comercial, el **consumo de vapor es de 22,4 t/h**, que representa el 18,7 % de la molida, la cual se encuentra en el rango establecido.

Al realizar una evaluación de los resultados vemos que la tasa de evaporación del Pre-evaporador se encuentra dentro de los rangos establecidos permitiendo satisfacer con su evaporación la demanda de vapor del calentador secundario y los Tachos.

A continuación se muestran los valores recomendados del régimen de evaporación para equipos evaporativos tomadas del “Manual de Operaciones para la Fabricación de Azúcar Crudo”, elaborada por el Ministerio del Azúcar.

Tabla # 4: Régimen de evaporación de los equipos evaporativos.

Equipo evaporador	Régimen de evaporación.	
	lb / h pie ²	Kg / h m ²
Vapor Cell a simple efecto	5.0 a 6.0	24.0 a 29.0
Vapor Cell a doble efecto	4.0 a 5.0	19.0 a 24.0
Triple efecto a condensador	6.0 a 8.5	29.0 a 41.0
Pre Evaporador	7.0 a 9.0	34.0 a 44.0
Cuádruple efecto	5.0 a 7.0	24.0 a 33.5
Quíntuple efecto	4.0 a 6.0	19.0 a 29.0

En el caso del Cuádruple Efecto los resultados obtenidos de tasas de evaporación y coeficientes de transferencia de calor están en correspondencia con lo planteado en la bibliografía para este tipo de equipamiento. En la tabla siguiente se muestra un resumen de los consumos de vapor del proceso.

Tabla # 5: Resumen consumo de vapor del proceso.

Equipo	Procedencia del Vapor (t/h)		
	I Vaso	Pre	Escape
Calentador Primario	7,5	-	-
Calentador Secundario	-	3,9	-
Calentador Rectificador	-	-	3,5
Calentador Jugo Claro	-	-	3,2
Tachos	-	22,4	-
Pre-evaporador	-	-	27,8
Cuádruple Efecto	-	-	19,2
Perdidas (3%)	-	-	1,6
Total	7,5	26,3	55,3

Como se aprecia el consumo de vapor del Pre-evaporador es de 26,3 t/h y con una tasa de evaporación de 5,59 lb/h.ft² (27,3 kg/h.m²) logra una evaporación de 26,9 t/h que satisface la demanda del Calentamiento Secundario y los Tachos.

El consumo total de vapor del proceso de 55,3 t/h se corresponde con del 46,1% de vapor en caña, indicador que se encuentra dentro de los valores establecidos de acuerdo al esquema térmico existente.

Turbogeneradores

Para el cálculo del consumo de vapor en los Turbogeneradores se tomaron los siguientes parámetros de operación:

- Vapor directo 240 psig (254,7 psia) y 300 °C.
- Vapor escape 15 psig (29,7 psia) y 150 °C
- Temperatura del agua a la atemperadora 98 °C.

Se considera que todo el vapor que demanda el proceso sea a través del paso por los turbogeneradores o sea que los mismos cumplan la función de la válvula reductora mediante el aumento o disminución de la carga a generar, siempre evitando el envío de vapor a la atmósfera para mantener el balance energético de la Industria.

Tabla # 6: Resultados del balance en los Turbogeneradores.

	Consumo Vapor (t/h)	Potencia generada (Kw.)
Turbogenerador # 1	42,6	3 000
Turbogenerador # 2	11,3	800
Total	53,9	3 800

Considerando que no existan pérdidas en los Turbogeneradores y que el vapor de escape sea igual al vapor de entrada, sumado a la cantidad de vapor que se incorpora por el agua que se inyecta en la atemperadora (1,4 t/h) se logra satisfacer la demanda de vapor del proceso que es de 55,3 t/h manteniendo un balance de vapor estable, donde es posible generar **3 800 Kw.** obteniéndose un índice de generación eléctrica de **31,72 Kwh. /tcm.**

Considerando un 7,7% de vapor para suplir las pérdidas por radiaciones, fugas y en otros usos (sopleteo de calderas, escobas, etc.) tenemos que la cantidad de vapor a generar por los generadores de vapor será de **58,06 t/h.**

Balance de Condensados.

De conjunto con este trabajo se está ejecutando un estudio del sistema de condensados donde aparece el balance de los consumos de agua para las diferentes necesidades del proceso, por ello es que no consideramos incluirlo en este estudio.

3.1.4. Balance de Combustible

Se denomina bagazo disponible (Bdisp) a la diferencia existente entre el bagazo producido (Bprod) y el bagazo de uso no combustible (Bunc), considerando bagazo no combustible todo aquel que sale de los molinos y no llega a Calderas, ya sea porque se destine a otros usos (bagacillo a filtros) o porque se pierda en manipulación, almacenaje, etc.

Bagazo Producido (Bprod):

$$B_{prod} = (\text{Bagazo \% Caña} / 100) * \text{Molida en t/h.}$$

$$B_{prod} = (32,8 / 100) * 119,79$$

$$\mathbf{B_{prod} = 39,29 t/h.}$$

Bagazo Perdido por Manipulación y Almacenaje (Bpma):

$$B_{pma} = (B_{prod} * \% \text{ PÉRDIDAS}) / 100$$

$$B_{pma} = (66,91 * 1.0) / 100$$

$$\mathbf{B_{pma} = 0,392 \text{ t/h.}}$$

Bagacillo a Filtros (Bf):

$$B_f = (\text{Bagacillo \% Cachaza} / 100) * \text{Molida horaria.}$$

$$B_f = (0.7 / 100) * 119,79$$

$$\mathbf{B_f = 0,275 \text{ t/h.}}$$

Bagazo Disponible (Bdisp):

$$B_{disp} = B_{prod} - B_{unc}$$

$$B_{unc} = B_{pma} + B_f$$

$$B_{disp} = 39,29 \text{ t/h} - (0.392 \text{ t/h} + 0,275 \text{ t/h})$$

$$\mathbf{B_{disp} = 38,63 \text{ t/h.}}$$

Para el cálculo del índice de generación del área de Generación de Vapor consideramos una eficiencia promedio del área de 66%, un valor calórico inferior del combustible de 1 855 Kcal./kg, con una presión de vapor de 250 psig con una temperatura de 310 °C y una temperatura del agua de alimentar de 98 °C.

El bagazo consumido (Bcons) lo calculamos por la siguiente expresión:

$$B_{cons} = \frac{Q_{abs}}{\eta * VCI}$$

Donde:

- Q_{abs} es el calor absorbido por el vapor que es = D_{vapor}*(i_v - i_{aa})
- D_{vapor} producción de vapor de las Calderas igual a 58 060 kg/h.
- i_v es la entalpía del vapor generado a 250 psig y 310 °C igual a 731.1 Kcal./kg.
- i_{aa} es la entalpía del agua de alimentar Calderas a 98 °C igual a 98 Kcal./kg.
- η es la eficiencia de las Calderas.
- VCI es el valor calórico del combustible.

Sustituyendo tenemos que el bagazo consumido es igual a 30 t/h, por lo que el bagazo sobrante es 8,63 t/h y el índice de generación de vapor de 1,94 kg_{vap}/kg_{bag}.

Considerando que la molidora diaria se comporte a un 80%, entonces se deja de moler al día 4 horas, de acuerdo a análisis efectuados y por la experiencia que se ha obtenido de otros estudios realizados se considera que durante las paradas el Ingenio demanda la mitad del vapor que consume durante la molidora, en este caso el consumo durante las paradas será de 29,03 t vapor/h, lo que significa un consumo de combustible durante esas horas de 14,96 t bag/h.

Realizando un balance diario de combustible tenemos que para las 20 horas de molidora el consumo de bagazo es de 600 t y para las 4 horas de parada es 59,84 t, entonces diariamente se consumen 659,84 t de bagazo y como el bagazo disponible diario es 772,6 t el **sobrante de bagazo diario será de 112,76 t bag/ día.**

3.1.5. Análisis de los resultados del balance energético.

De los resultados obtenidos en el balance efectuado se pueden hacer los análisis siguientes:

- Con la no utilización del Calentador Líquido – Líquido se logra un aumento del consumo de vapor del proceso del 46% de vapor en caña, lo que contribuye a una mayor explotación de la capacidad de generación eléctrica instalada ya que aumenta la demanda de vapor del proceso.
- En el área del calentamiento existe baja velocidad del jugo por el interior de las fluserías lo que provoca incrustaciones, principalmente en el Calentador de Jugo Claro.
- El calentador de jugo claro debe alcanzar un coeficiente de transferencia de calor alto, de acuerdo a lo planteado en la bibliografía, para obtener una temperatura del jugo de 115 °C a la salida.
- En el área de evaporación un solo Pre-evaporador es capaz de satisfacer la demanda de vapor del calentamiento secundario y Tachos, con una tasa de evaporación de 5,59 lb/h.ft² la cual está dentro de los rangos establecidos para este tipo de equipo, de acuerdo a lo planteado por los especialistas esto solo era posible de lograr utilizando los dos existentes, por lo que se recomienda la revisión técnica de estos equipos para detectar las causas que puedan provocar esta situación, como puede ser incrustaciones de la fluserías por el lado del vapor y de las entradas de

vapor a la calandria que provocan una mala transferencia de calor o deficiente alimentación de vapor al mismo.

- La capacidad instalada de generación eléctrica se logra explotar a un 63,3% obteniéndose un índice de generación de 31,72 Kwh./tcm y un sobrante de combustible diario de 112,76 t, que permite suplir las paradas y arrancadas del Ingenio.

3.2. Proceso de Mejoras.

Selección del personal para la determinación de los indicadores (Expertos).

En el proceso de determinación de los indicadores a medir en la Evaluación del Desempeño para esta unidad participaron algunos miembros del Consejo de Dirección Ampliado y especialistas con mayor calificación de las distintas áreas de la entidad (expertos).

Se seleccionó un método que permitiera evaluar las características que partiendo de la experiencia y el conocimiento humano puedan ser medidas, por lo que se hizo necesario el aporte de especialistas con suficientes conocimientos y dominio de los procesos en la empresa.

Los expertos fueron seleccionados en función de la complejidad, características del trabajo que desarrollan y el nivel de confianza que se debe obtener. Los expertos deben tener probada experiencia y conocimientos del aspecto que se va a evaluar, de manera que cada integrante del panel pondere según el orden de importancia, que cada cual entienda a criterio propio los indicadores de mayor relevancia.

El conjunto de expertos seleccionados originalmente es como sigue:

10 Profesores Universitarios

De ellos:

- 2 Doctores en Ciencias Técnicas.
- 5 Master en Ciencias.
- 5 Ingenieros industriales
- 8 vinculados a la Agroindustria Azucarera

Es por lo tanto que se escoge el Método Delphi y de esta forma realizar el trabajo en el Grupo de Expertos y el Método del Coeficiente de Kendall para buscar la concordancia entre el criterio de los expertos, realizándose las adecuaciones necesarias para este estudio.

Se calculó el número de expertos que como mínimo hacen falta por la fórmula siguiente:

$$M = \frac{P * (1 - P) * K}{I^2} = \frac{0.01 * (1 - 0.01) * 6.6564}{0.10^2} = 6.5898 \approx 7 \text{ (Expertos como mínimo)}$$

Donde:

P = 0.01 (Error mínimo que se tolera en el juicio de los expertos)

K = 6.6564 (Para un nivel de confianza del 99 %)

I = 0.1 (Nivel de precisión que se asumió).

Según la aplicación de la fórmula para el cálculo de la cantidad de expertos, como mínimo se obtuvo un resultado de 7 expertos, pero se seleccionaron 9, ya que se recomienda emplear de 9 a 25 expertos (Pons, 2006). Se analizaron los expedientes laborales, comprobaron las responsabilidades desempeñadas, cursos recibidos, superación recibida, años de experiencia en la profesión y su especialidad de graduación.

Indicadores seleccionados en la tormenta de ideas.

Para la determinación de los Oportunidades y poder aplicar este método se realizó una tormenta de ideas y de ella obtuvo como resultado una recolección rápida de ideas con los siguientes indicadores (Ronda 1):

1. Generar energía con bagazo sobrante.
2. Venta de bagazo desmedulado.
3. Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación
4. Fabricar alcohol con bagazo.
5. Alimento animal con paja.
6. Toda la paja como combustible.
7. Rehabilitar fábrica de tableros Procuba.
8. Fabricación de blanco directo.
9. Fabricar biocombustible con jugo de caña.
10. Instalación .de alimento animal miel – urea – bagacillo.

Reducción del listado de Oportunidades (Ronda 2)

En la segunda ronda los expertos precisaron las 10 Oportunidades más importantes según lo siguiente:

- Generar energía con bagazo sobrante.
- Venta de bagazo desmedulado.
- Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación.
- Fabricar alcohol con bagazo.
- Alimento animal con paja.
- Toda la paja como combustible.
- Rehabilitar fábrica de tableros Procuba.
- Fabricación de blanco directo.
- Fabricar biocombustible con jugo de caña.
- Instalación de alimento animal miel – urea – bagacillo.

Los expertos unieron sus ideas y llegaron a un consenso, después de ver las discrepancias que existían entre sus criterios, luego de realizado el método Delphi, se determinaron las oportunidades a procesar.

La Tabla 7 muestra la matriz diseñada para el criterio de los expertos.

Tabla 7 Matriz de Oportunidades según los criterios de los expertos.

Oportunidades	Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Venta de bagazo desmedulado.										
2. Generar energía con bagazo sobrante.										
3. Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación										
4. Fabricar alcohol con bagazo.										
5. Alimento animal con paja.										
6. Toda la paja como combustible.										
7. Rehabilitar fábrica de tableros Procuba.										
8. Fabricación de blanco directo.										
9. Fabricar biocombustible con jugo de caña.										
10. Instalación de alimento animal miel – urea – bagacillo.										

Luego se pasó a aplicar el método del coeficiente de Kendall, para priorizar los criterios del grupo de expertos con conocimientos de los indicadores sometidos al estudio, de manera que cada integrante del panel realice ponderaciones según el orden de importancia que cada cual entienda de acuerdo con su criterio propio.

Para realizar los cálculos de acuerdo al coeficiente de Kendall, se elaboró una tabla donde aparecen los indicadores más relevantes expuestos por cada y la cantidad de expertos que emiten su criterio. Posteriormente se obtuvo la suma de los criterios de los expertos sobre cada producto ($\sum A_i$).

Se calculó el valor del término T, el cual, además de servir para poder determinar la desviación del criterio del grupo de expertos, resulta ser el criterio de comparación que se utiliza para seleccionar los indicadores que se desean obtener, resultando ser $T = 47,9$.

Posteriormente se procedió a la realización de los cálculos de la desviación (Δ) y la desviación cuadrática (Δ^2) de los criterios de los expertos sobre los indicadores, los cuales se muestran en la Tabla 8

Tabla 8. Valuación de Expertos

Oportunidades	Experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Venta de bagazo desmedulado.		2	3	3	4	4	3	3	3	3
Generar energía con bagazo sobrante.		1	2	1	1	1	2	1	3	2
Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación		5	5	6	4	6	5	4	4	7
Fabricar alcohol con bagazo.		8	8	7	7	8	7	9	7	7
Alimento animal con paja.		3	3	4	4	4	4	6	5	5
Toda la paja como combustible.		6	6	5	5	5	5	5	6	5
Rehabilitar fábrica de tableros Procuba.		6	7	8	7	6	9	7	7	8
Fabricación de blanco directo.		9	10	9	9	9	5	9	9	9
Fabricar biocombustible con jugo de caña.		8	9	9	9	10	8	8	10	9
Ins.de alimento animal miel – urea – bagacillo		2	2	1	1	2	2	1	1	2

Las indicadores a medir, fueron elegidos por tener un valor de $\sum a_i < T$ y se determinaron con un coeficiente de concordancia entre los expertos de 0,8874, lo que equivale a decir, que existe concordancia de criterios entre todos los miembros que conforman el panel de experto, por lo que el estudio realizado es confiable.

Los indicadores calculados se muestran en la Tabla 9

Tabla 9. Cálculo de los indicadores de la Matriz de Expertos

Experto	Rango de importancia										ΣA_i	T	ΣA_i^- T	Δ	Δ^2	w	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9								
Indicadores																	
Venta de bagazo desmedulado.	2	3	3	4	4	3	3	3	3		28	2,8	25,2	-21,1	445		
Generar energía con bagazo sobrante.	1	2	1	1	1	2	1	3	2		14	1,4	12,6	-35,1	1232		
Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación	5	5	6	4	6	5	4	4	7		46	4,6	41,4	-3,1	9,61		
Fabricar alcohol con bagazo.	8	8	7	7	8	7	9	7	7		68	6,8	61,2	18,9	357		
Alimento animal con paja.	3	3	4	4	4	4	6	5	5		38	3,8	34,2	-11,1	123		
Toda la paja como combustible.	6	6	5	5	5	5	5	6	5		48	4,8	43,2	-1,1	1,21		
Rehabilitar fábrica de tableros Procuba.	6	7	8	7	6	9	7	7	8		65	6,5	58,5	15,9	253		
Fabricación de blanco directo.	9	10	9	9	9	5	9	9	9		78	7,8	70,2	28,9	835		
Fabricar biocombustible con jugo de caña.	8	9	9	9	10	8	8	10	9		80	8	72	30,9	955		
Ins.de alimento animal miel – urea – bagacillo	2	2	1	1	2	2	1	1	2		14	1,4	12,6	-35,1	1232		
											479		4,79		5443		
												47,9				0,9	

m 9

k 10

Manejo Ambiental.

Ha medida que el hombre ha evolucionado en la forma de aprovechar los recursos que le proporciona la naturaleza, ha tenido que adaptar sus acciones para lograr un equilibrio entre el aprovechamiento de dichos recursos y los efectos que su actividad causa sobre ellos.

Ha venido realizando desde sus comienzos, esfuerzos sostenidos que han requerido dedicación de recursos humanos y financieros con el firme propósito de adecuar sus procesos a fin de garantizar nuestra misión de mantener una "OPERACIÓN ECOLOGICAMENTE SANA".

Dando así cumplimiento a la normativa ambiental vigente y a nuestra responsabilidad como empresa, de contribuir con el mejoramiento de nuestro entorno, incluyendo en él, desde cada rincón dentro de nuestra provincia hasta las provincias vecinas.

Este proceso ha requerido una revisión profunda de los métodos y procedimientos, así como del estudio de la mejor forma de aplicar nuevas tecnologías. Es así como a principios de la década de los 80 y con la participación de empresas especializadas, tanto a nivel nacional como internacional, conjuntamente con ingenieros y técnicos, se inicia un nuevo proceso de detección de fallas, seguido del estudio y análisis de las alternativas presentadas en cada caso, para encaminarnos hacia la búsqueda de un sistema de gestión ambiental con las actividades de nuestra agroindustria azucarera.

La E. A. Elpidio Gómez trabaja con la filosofía de producción limpia, es decir, sin generar impacto ambiental, por lo cual cuenta con sistemas modernos de recuperación y reproceso de efluentes y manejo de residuos industriales. Los sistemas de bombeo están ubicados en el primer piso de la fábrica, el cual está dotado de canales recolectores que conducen a fosos previstos de bombas para su recuperación como fertiriego a la propia caña.

Contaminantes en el Ingenio Azucarero.

En la industria azucarera se tiene distintos contaminantes, los cuales se suele agrupar por el estado en el cual se encuentran, así tenemos contaminantes en estado líquido, en estado gaseoso y en estado sólido. A continuación comentaremos brevemente la forma en la que se tratan a cada uno de ellos hasta su disposición final.

Control de Emisiones Atmosféricas

Las principales fuentes de estos tipos de residuos se encuentran en el área de calderas.

La quema del bagazo en las calderas y el desmedulado para el aprovechamiento de la fibra y médula, generan emisiones de sólidos a través de chimeneas, ciclones, conductores y conductos, las cuales se convierten en enormes fuentes de contaminación si no son controladas

El agua utilizada para el lavado arrastra los sólidos separados con ella y es enviada a una laguna de sedimentación donde se logra la separación de los sólidos del líquido para re-utilizar el agua en un circuito cerrado y ahorrar de esta manera este vital líquido. Los sólidos se retiran por medios mecánicos y son dispuestos nuevamente en el campo en una mezcla denominada "compost", el cual es utilizado como fertilizante.

Se han realizado estudios y caracterización de las emisiones a la atmósfera, determinando la concentración de partículas totales, óxido de nitrógeno (expresados como NO₂), monóxido de carbono (CO), velocidad de los gases y otros parámetros asociados, para las calderas bagaceras.

Tratamiento de Efluentes Líquidos

La experiencia internacional en tratamiento de aguas servidas de centrales azucareros muestra que los sistemas más usados para este propósito son los filtros ecoladores, las zanjas de oxidación y los sistemas de lagunas combinadas, de los cuales este último ha sido el más ampliamente utilizado. La aplicación del sistema de lagunas anaeróbicas, aireadas, aeróbicas y facultativas en países como: Sudáfrica, Australia y en el estado de Florida - EE.UU., han sido un éxito.

Los trabajos de construcción del Sistema de Tratamiento de Efluentes Industriales están conformados de la siguiente manera:

Dos lagunas anaerobias, 1 con un volumen con un volumen de 21 600 metros cúbicos (m³) y la otra con 14 400 m³, la cual también hace la función de laguna de pulimento.

Acondicionando de esta manera el agua para ser utilizada en el riego de la caña de azúcar. Es importante mencionar que el tratamiento que se le da al agua en este sistema es netamente biológico por lo que no hay incorporación de químicos sino lo necesario para

ajustar el pH y obtener un buen balance de nutrientes, así se le da tiempo a los microorganismos que se encuentran en el agua, proporcionándoles las condiciones adecuadas, para que ellos hagan la transformación de la materia orgánica que viene en el agua, a una forma mas sencilla y menos contaminante, a su vez estos compuestos orgánicos son utilizados por estos microorganismos en su ciclo de vida.

En la búsqueda de mejoras, se han llevado a cabo algunas experiencias tales como la siembra de bacterias en las lagunas anaerobias a fin de eliminar los malos olores y acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica que ha ido en aumento debido al incremento del afluente respecto a la capacidad de diseño, y por otra parte también se realizaron pruebas de inyección de oxígeno puro, en forma líquida, a fin de disminuir los niveles de demanda bioquímica de oxígeno en la laguna aeróbica; con el objeto de que en algún momento estas aguas puedan ser re-utilizadas nivel industrial.

Manejo de Sólidos.

El principal contaminante sólido es el bagazo de caña. Éste es principalmente sin desmedular e incinerado aprovechándolo para la producción de vapor y con éste generar energía en forma de vapor de agua.

Otro de los elementos de este grupo es lo que comúnmente llamamos tierra, y que no es mas que una mezcla del bagazo retirado debajo de la mesa de los molinos con su jugo residual y la tierra que viene con la caña, una parte retirada en el molino y otra parte retirada en la fábrica con la cachaza, es devuelta a los campos, después de pasar por un proceso de maduración, para mejorar la estructura y fertilidad del suelo.

Un tercer grupo, lo componen residuos como papeles, cartones, envoltorios de las materias primas utilizadas en el proceso, residuos generados por la misma actividad humana; para lo cual se dispone de sitios especiales para su disposición final donde se les da el manejo correspondiente a todo aquello que no es posible reciclar.

Capítulo 3: Elaboración del plan de oportunidades de diversificación.

Aplicación del procedimiento para la Gestión de Mejora (Oportunidades).

Del Capítulo anterior concluimos que se seleccionaron 6 oportunidades según los expertos, que a continuación se relacionan argumentándose según el análisis hecho por el Equipo de Mejora y los propios Expertos.

3.1 Toda la paja como combustible.

Un grupo de ingenios en Cuba han logrado la estabilización del uso de los R.A.C. (residuos agrícolas cañeros) (paja de caña o residuos de caña), como combustibles en sustitución del petróleo, la leña y el bagazo, alimento animal en períodos de intensas sequías, substratos para hongos comestibles, compost como fertilizante orgánico y protectores de suelos. Sin embargo todavía es muy bajo el uso Nacional del potencial que está disponible en las estaciones de limpieza de caña, en las cuales, además de su función principal de limpiar la caña y transbordar de las carretas y camiones al ferrocarril, cumplen la función de recolectar los RAC en el campo, separarlos de la caña y concentrarlos para su procesamiento industrial, haciendo muy económico su manipulación a granel.

La probable reducción de un gran número de ingenios que se hará en Cuba en un futuro, hará más activa la utilización de los R.A.C., ya sea en la variante actual o en la forma de caña integral o caña sin limpiar, la cual se justifica hoy más que nunca por la relación de precios tan desfavorable del azúcar con relación al petróleo.

Al mismo tiempo, son muy prometedoras las pruebas industriales con caña energética y sus residuos, para la producción de electricidad fuera de zafra y alcohol de sus jugos no cristalizables.

Se han estado probando con éxito prototipos de briqueteadoras y empacadoras para almacenar y usar fuera de zafra. Se construye un prototipo de locomotora que trabajará en gasificación con briquetas.

Se posee un modelo matemático para la toma de decisiones logísticas en la cadena de suministro.

El mayor freno a la utilización plena de esta riqueza nacional ha sido la falta de financiamiento, así como, la tradición de poco cambio del sector azucarero y la demora en adecuar la ley de energía y medio ambiente.

La integración de la caña al TURISMO, por la vía de la venta de electricidad y alcohol, limpios y renovables, se aprecia como la principal posibilidad y más conveniente, para el regreso de la caña Energética y Azucarera, como protagonista histórico de la economía Cubana.

Los estudios realizados por Pérez han dado como resultado (Tabla 10).

Tabla 10: Consumo de RAC en Cuba como combustible en las ultimas ocho zafras.

Zafra	Ton. Met.	% Usado del disponible en Centros de Limpieza
1994	124,930	4.6
1995	125,776	6.1
1996	122,266	4.4
1997	130,289	4.6
1998	146,210	7.2
1999	132,109	5.5
2000	.	Datos no disponibles
2001	72,637	3.2
2002	133,485	5.8
Total	987,702	5.1

Tabla 11: Resultados de los seis ingenios más destacados en el consumo de RAC como combustible, en toneladas por zafra.

Ingenio	2000	2001	2002	Años en Operación
U. Noris	20,184	17,190	21,425	9
A. Maceo	7,503	6,701	14,072	6
Ch.Fabregat	8,430	11,670	15,245	19
Q. Banderas	5,072	1,829	11,395	13
Ecuador	4,592	4,592	10,684	5
R. Ponciano	5,922	7,796	9,233	20

Tabla 12: Eliminación del uso del petróleo como combustible con el uso sistemático de los RAC en Urbano Noris, uno de los tres ingenios mayores de Cuba.

Año	Ton. Fuel Oil	Ton. RAC
1993	14,997	0
1994	13,789	1,200
1995	8,678	3,500
1996	6,304	11,030
1997	1,951	11,588
1998	2,744	12,613
1999	0	18,500
2000	0	20,184
2001	0	17,190
2002	0	21,425

Tabla 13: La cultura en el uso de los RAC como combustible no es igual en todo el país, como puede verse en la tabla por provincias con lo consumido en la última zafra. Cinco provincias no consumieron nada.

Provincia	Ton. 2002	% del Disponible
Holguín	50,566	18%
Villa Clara	38,888	16%
Ciego de Ávila	14,610	7%
Santi Espíritus	9,580	8%
Pinar del Río	9,400	15%
Camaguey	8,178	4%
Guantánamo	2,135	5%
Santiago de Cuba	128	0.1%
Nacional	133,485	5.7%

Tecnología actual.

Se basa en la utilización de los centros de limpieza neumáticos, su manipulación a granel con una ligera compresión por el equipo que los alza y carga en los medios de transportes y el troceado en el ingenio a un tamaño admisible según las calderas de cada lugar, en instalaciones construidas con este fin o usando los tandems de molinos cañeros en las paradas por falta de caña.

La logística y el troceado se hace utilizando equipos tradicionales de la agro-industria azucarera, los cuales cumplen aceptablemente el objetivo y están disponibles como equipos de segunda mano, aunque existen diversas formas según cada lugar.

Los equipos para picar los RAC al largo asimilable según el tipo de instalación se describen a continuación especificando el nombre del ingenio.

Para quemar en hornos de pilas o herraduras bastan dos cuchillas normales en serie que logran un largo de partícula por debajo de 100 milímetros en más de un 50%. Se usan en “Chiquitico Fabregat” y “Carlos Baliño” y tienen una capacidad hasta 10 de 15 ton por hora y un consumo específico de potencia de Kwh. por ton de RAC.

Para quemar en hornos de calderas con spreader stoker se usa por lo menos una cuchilla y un molino de tres mazas clásico. Esta instalación logra 70% de las partículas con menos de 50 milímetros de largo. Además de cortar los RAC, el molino compacta aumentando la densidad lo que mejora la manipulación en los conductores y lanzadores. También puede manipular RAC y bagazo almacenado con alta humedad, la cual logra disminuir por debajo del 50% que lo hace apto para la combustión en calderas convencionales. Se usan en las fabricas “Ramón Ponciano”, “José Martí”, “George Washington”, “Argentina” y “Ecuador”, alcanzan una capacidad de hasta 20 ton por hora y un consumo específico de potencia de 18 Kwh. por tonelada de RAC. En las fábricas “Mella” y “Cristino Naranjo” se usan molinos de dos mazas que no han logrado la eficiencia de los anteriores.

En “Urbano Noris”, “Maceo” y “Camilo Cienfuegos”, se usa una cuchilla y dos molinos para capacidades por encima de 30 ton por hora, para procesar RAC con mucho cogollo y con la posibilidad de procesar caña energética en un futuro por lo que necesitarán extraer jugo y secar el bagazo y residuos por debajo del 50% de humedad. Logran largo de partículas muy favorable y un consumo específico de potencia de 20 Kwh. por ton de RAC.

Todos los ingenios en periodos de falta de caña y bagazo, pueden procesar los RAC por los tandems de molinos que normalmente muelen caña, con el objetivo de obtener combustible para estabilizar el proceso azucarero con el mínimo de perdidas de azúcar y no comprar combustible adicional. Se han hecho mediciones de hasta 70 ton de RAC por hora, 100% de partículas por debajo de 50 milímetros de largo y 90 Kwh. por ton de RAC de consumo específico de electricidad.

Hasta hoy todos los equipos consolidados para picar los RAC, han sido los que están en las áreas dentro del ingenio azucarero, a tono con la fortaleza, fiabilidad y cultura del personal de operación y mantenimiento de estos.

Nuevos desarrollos en proceso.

Se han probado varios equipos para picar RAC tratando de eliminar el uso del molino de tres mazas clásico, donde no fuera necesaria su función de compactación y secado, para lo cual en nuestras condiciones es insustituible, pero su instalación y mantenimiento es difícil y costosa aunque todavía muy rentable.

Hasta ahora ninguno había logrado cumplir los requisitos.

En la última zafra un equipo desarrollado en Quintín Banderas ha logrado procesar más de 10,000 ton, siendo asimilado los RAC por las calderas de spreader and stocker, con un

consumo específico increíblemente bajo de 8 Kwh. por ton, con buena fiabilidad y aceptable costo de mantenimiento, logrando hasta 12 ton por hora de capacidad.

Debe procesar paja con menos de 50% de humedad que haya tenido un proceso de secado al sol almacenada de 2 días en los centros de limpieza.

5.2 La molienda de la caña azucarera sucia, sin limpiar o caña integral o total que ya se realiza en otros países, está siendo bien estudiada en Cuba por varias instituciones, pues en las pruebas anteriores no les fue demostrado a los tecnólogos azucareros, pero la actual correlación de precios entre el azúcar y el petróleo la hace cada vez más atractiva y se estudia en la planta piloto de la Universidad Central Marta Abreu de Santa Clara, donde podrán lograrse conclusiones confiables en la zafra del 2003.

En esta variante los residuos no se separan de la caña y se procesan como un todo. Siempre que se estudie esta variante se debe tener presente que la caña integral no es la misma materia prima si se corta manual o si se corta a máquina, pues la presencia del tallo verde del cogollo influye drásticamente en los resultados.

5.3 Se modificó una locomotora existente y se construye una totalmente nueva en Planta Mecánica de Santa Clara para trabajar con briquetas de paja de una máquina también desarrollada aquí como * de un proyecto para trabajar la locomotora en régimen de gasificación de biomasa. Este proyecto lo dirige el Instituto Nacional del Transporte.

Perspectivas futuras.

La utilización de RAC en Cuba ya sea separados o integrados a la caña energética se hacen y posiblemente se harán durante muchos años con tecnologías convencionales alrededor de las estaciones neumáticas de limpieza en su doble función de limpiar y transferir, pero siempre serán el primer e imprescindible paso de tecnologías más modernas que necesitan tener la materia prima preparada en el lugar de su procesamiento.

Su utilización a granel, en pacas o briquetas, dependerá de su uso posterior, en el momento o con necesidad de almacenaje y ya existen estudios al respecto, los cuales permiten aplicar la filosofía cadena de suministro al aprovisionamiento de la paja de caña hasta las fábricas de azúcar. Esta filosofía implica el empleo de técnicas de modelación matemática y de técnicas gerenciales logísticas.

En "Melanio Hernández" se realizó una prueba industrial con caña energética produciendo alcohol con sus jugos que no producen azúcar.

Esta caña podrá ser la materia prima para la producción de electricidad y alcohol en periodos fuera de zafra azucarera o en fábricas que tengan como producción principal la electricidad todo el año o también la utilización del bagazo como materia prima para otros usos.

Esta caña debe molerse con sus residuos integrados o caña energética integral, sucia o total.

Un resumen de sus resultados se muestra a continuación: Más de 60 ton. de materia prima seca por hectárea, más 160 Kwh./ton de caña posibles. Disminuye la carga continuamente en la combustión y en la producción de alcohol. Produce la misma biomasa en un 60% menos de área. Se produce alcohol de sus jugos que no producen azúcar.

Tabla 14: Resultados de la aplicación de técnicas de modelación matemática

Alternativas	A	B
Dólares por ton R.A.C. procesados total (\$/t)	5.12	8.43
Distancia media desde las estaciones de limpieza a la fabrica (Km.)	12	25
Medios de transporte	Tractor con carreta y tren	

La alternativa A se corresponde con el uso de los R.A.C. a granel en periodo de zafra y la alternativa B prevé el almacenamiento de pacas para trabajar durante todo el año.

Ha continuación mostramos en la Tabla 15 cuanto costaría la implementación de esta oportunidad de diversificación en la EA. Elpidio Gómez.

Tabla15 Toda la Paja como combustible

	MT, MCUP	MCUC
Construcción y Montaje	200,0	25,0
Equipos	2000,0	1600,0
Otros	58,0	6,0

3.2. Alimento animal con paja.

USO EN LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO VACUNO

En Cuba y otros países, se han evaluados 15 caracteres (10 agroazucareros, 3 fitosanitarios y 2 relacionados con la digestibilidad (materia seca y su digestibilidad), mediante análisis multivariado (Componentes Principales y Factorial Discriminante). Los resultados reflejaron una relación directa entre el número de hojas activas y el porcentaje de la digestibilidad de la materia seca e inversa entre esta última y el porcentaje de fibra, también se apreció que las variables, porcentaje del peso fresco del tallo y el porcentaje de digestibilidad de la materia seca fueron las que mayor influencias ejercieron en los componentes, permitiendo caracterizar los grupos formados.

El análisis discriminante permitió clasificar los cultivares en tres grupos, estos son: Variedades de alto valor forrajero (digestibilidad de la materia seca > 50 %), Variedades de medio valor forrajero (entre 40 – 49 %) y Variedades de bajo valor forrajero (< 40 %). Los resultados de este trabajo permitieron recomendar 10 nuevos genotipos caracterizados por su resistencia a las principales enfermedades y su alto valor forrajero, donde 7 de ellas se adaptan a las condiciones de estrés ambiental (sequía y mal drenaje) que representan el 70 % del área ganadera del país.

La investigación agropecuaria ha desempeñado un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en el desarrollo agrícola al elevar la producción de la agricultura para alimentar a una población en rápido crecimiento, los principales proyectos de la ganadería y la piscicultura han sido la contribución básica para el aumento del 80% de la producción mundial de alimentos desde mediados del decenio de 1960. (FAO, 1998).

La antigua práctica de alimentar el ganado con caña de azúcar se ha extendido en los últimos 10 a 12 años hasta tal punto, que actualmente constituye la base de sistemas de producción pecuaria económicamente viables para rumiantes de gran tamaño (Preston, 1988). Esto se debe fundamentalmente a que las plantaciones de caña de azúcar son una realidad que está íntimamente entrelazada con el legado histórico de numerosas comunidades rurales en el trópico. Las poderosas fuerzas para acelerar la diversificación pueden ser absorbidas e integradas dentro de la infraestructura dedicada a la producción de caña (Alexander, 1988).

La Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara, situada en áreas del CAI “Efraín Alfonso”, sobre suelos Pardos con Carbonato (Cambisol Eutricto) según la II clasificación genético de los suelos de Cuba (Hernández y col., 1975) y lo establecido por la FAO, UNESCO (1994).

Fueron estudiados 26 genotipos, 10 comerciales, 9 en etapa de extensión, 6 excomerciales y una variedad energética (tabla 1), con el propósito de incrementar la variabilidad en la población evaluada, cada individuo ocupó un área de 64 m² (4 surcos de 10 m lineales) en la cepa de primer retoño con edades entre 12 – 14 meses de edad. El muestreo se realizó utilizando la metodología por Molina y Tuero (1995), mediante la cual se calcularon el porcentaje de peso fresco del tallo, porcentaje de peso fresco del cogollo, porcentaje de peso fresco de la paja y porcentaje de materia seca de cada variedad.

Los valores de resistencia genética a la roya (roy), resistencia genética al carbón (carb), índice de infestación del bórer (Bor), t caña/ha (Rend), habito de crecimiento (hab cre), porcentaje del contenido de fibra (cont fi), brix reproductométrico (brix), porcentaje de pol en caña (pol), presencia de espinas (espinas), número de hojas activas (hojas act) fueron medidos acorde con lo establecido en las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (INICA, 2002).

Ha continuación mostramos en la Tabla 16 cuanto costaría la implementación de esta oportunidad de diversificación en la EA. Elpidio Gómez.

Tabla 16 Alimento Animal con Paja

	MT, MCUP	MCUC
Construcción y Montaje	65,6	6,6
Equipos	54,4	48,2
Otros	12,0	2,0

3.3. Aumento de generación eléctrica con turbina de condensación.

Es una inversión relativamente costosa, pero muy conveniente y factible, los costos en el mercado mundial están por los \$5000 / Kw. instalados, y da un margen de operatividad muy significativa en un ingenio azucarero.

Ha continuación mostramos en la Tabla 17 cuanto costaría la implementación de esta oportunidad de diversificación en la EA. Elpidio Gómez.

Tabla 17 Turbina de condensación

	MT, MCUP	MCUC
Construcción y Montaje	500,0	160,0
Equipos	40,0	30,0
Otros	36,0	30,0

3.4. Venta de bagazo desmedulado.

La obtención de productos de alto valor agregado a partir del bagazo como medicamentos o sus materias primas, productos para la industria alimenticia o la industria química, solventes y otros implican varias premisas que deben conformar la estrategia para la correcta diversificación de esta materia prima como son:

- Disponer de tecnologías técnica y económicamente viables para la separación de los polímeros naturales que lo componen es decir disponer de las fuentes de celulosa, lignina y xilosa.
- Lograr la purificación y calidad requerida de cada uno de ellos para el producto específico.
- Integrar el proceso de producción para el producto en cuestión con las restantes corrientes que se generan que no pueden ser consideradas residuos por su magnitud y valor.
- Disponer de un mercado seguro para todos los productos integrados que garanticen la efectividad empresarial del proceso.
- Estos procesos son consumidores fuertes de energía por lo que deben ser combinados con variedades de caña energética que puedan aportar la fibra requerida y también la solución energética más favorable.
- Calificar a las personas en la cultura de estos complejos procesos y su vinculación con mercados de calidades exigentes como la biotecnología y los medicamentos o alimentos con profunda sensibilidad al cuidado del ambiente pues estos procesos generan altas cargas de BOD.

– Estos son procesos que requieren mucho capital e inversiones intensivas por lo que la garantía del mercado y la explotación a máxima capacidad son condicionantes de gran peso para emprender estos proyectos.

Así hoy se puede pensar en utilizar el bagazo como fuente de celulosa para un proyecto tan interesante como la producción de fibra dietética para el consumo humano que pueda aportar los 30g diarios de fibra que se requieren en la dieta y en lo que ya Cuba 9 ha dado sus primeros pasos lo que debe constituirse en una de las principales aplicaciones para la diversificación del bagazo.

En Cuba la demanda de bagazo desmedulado está basado en el consumo para:

- El polo científico.
- Las plantas de tablero de bagazo.
- Las plantas de pulpa y papel.
- Alimento para la ganadería

Ha continuación mostramos en la Tabla 18 cuanto costaría la implementación de esta oportunidad de diversificación en la EA. Elpidio Gómez.

Tabla 18 Planta de Bagazo desmedulado

	MT, MCUP	MCUC
Construcción y Montaje	90,0	8,0
Equipos	120,0	70,0
Otros	26,0	3,0

3.5 Planta de alimento animal miel – urea – bagacillo.

La caña de azúcar es uno de los cultivos que se producen abundantemente en el periodo poco lluviosos. Los subproductos de la misma, obtenidos de la industria azucarera, plantean nuevas opciones para la alimentación del ganado (Rodríguez, 1988).

Durante la cosecha y el proceso tecnológico de la producción de azúcar, es posible obtener por cada tm de caña: 120 kg de azúcar, 36 kg de melaza, 36 kg de cachaza, 270 kg de bagazo húmedo, 60 kg de paja y 100 kg de bagacillo.

En las regiones de clima templado, sin duda alguna, la fuente más económica de energía para los animales son los cereales, pero cuando analizamos las regiones tropicales del mundo, la situación se complica, ya que los mismos no se siembran a gran escala y los que lo hacen, lo dedican mayoritariamente al consumo humano.

Partiendo de ello y de acuerdo a la coyuntura mundial de precios de los cereales, así como el desarrollo de la agroindustria en el país, se pueden brindar opciones sobre la obtención y uso de uno u otro producto proveniente de la caña de azúcar y de su industria.

Por último, considerando que el costo de 1 kg de melaza está a Bs. 32 y contiene una energía metabolizable de 2.19 Mcal/kg MS y el costo de la harina de maíz está alrededor de Bs. 145/kg y contiene una energía metabolizable de 3 Mcal/kg MS, nos hace meditar sobre la perspectiva de la caña como cultivo para la ganadería vacuna

Ha continuación mostramos en la Tabla 19 cuanto costaría la implementación de esta oportunidad de diversificación en la EA. Elpidio Gómez.

Tabla 19 Planta Miel – Urea - Bagacillo

	MT, MCUP	MCUC
Construcción y Montaje	120,0	8,0
Equipos	80,0	30,0
Otros	8,0	0,8

3.6 Generar energía con bagazo sobrante.

En una instalación azucarera se puede generar en tiempo de parada con el turbo grupo existente. Es verdad que desde el punto de vista energético es ineficiente, pero se tiene que tener en cuenta que la instalación está parada y por lo tanto desde el punto de vista económico es más viable. No requiere inversión.

CONCLUSIONES:

1. La industria azucarera cubana puede y debe diversificarse. Para su análisis y proyección son necesarias las herramientas y métodos de Ingeniería Industrial.
2. Las más importantes oportunidades según el criterio de los expertos son:
 - Generación eléctrica con bagazo sobrante.
 - alimento animal miel – urea – bagacillo.
3. La Diversificación agro industrial azucarera es beneficiosa para el medio ambiente. Su característica tropical y planta anual hace que sea idónea para la fijación de emisiones de CO₂.
4. La generación con biomasa es una energía limpia, por lo que es beneficiosa y debe priorizarse siempre.
5. Las inversiones de alcohol a partir de bagazo, aunque parece ser una oportunidad muy beneficiosa, no son recomendables en esta etapa, por la situación financiera mundial, y las restricciones que tiene Cuba.
6. Los objetivos propuestos fueron cumplidos logrando proponer un plan de oportunidades de diversificación para la empresa.
7. Para las diferentes oportunidades de diversificación contamos con:
 - 112.76 toneladas de bagazo sobrante diario.
 - 0.7 Mw. /h de energía eléctrica que se vende al CEN.

RECOMENDACIONES:

1. La E. A. Elpidio Gómez debe utilizar el Plan de Mejora (Oportunidades) para proyectar su plan de diversificación a corto plazo.
2. La Industria de la E. A. Elpidio Gómez debe priorizar la generación eléctrica en tiempo de parada, por ser una variante poco costosa y de ninguna inversión.
3. La entidad debe valorar otra de las oportunidades que son de significativo beneficio para la sociedad: las plantas de alimento animal. Son necesarias y oportuna para el desarrollo ganadero del país.
4. La Dirección de RRHH y el Director de Fábrica deben implementar una amplia capacitación de los dirigentes y trabajadores acerca de los beneficios de la Diversificación agro industrial azucarera.

ANEXOS:

Técnicas utilizadas en la identificación y diagramas de procesos

Técnicas para la identificación	Descripción
IDEFO	El estándar de mapeo IDEFO se utiliza frecuentemente para iniciativas de reingeniería de procesos. Aunque su inicio fue como herramienta de software, se le han encontrado aplicaciones en una diversidad de organizaciones de fabricación y de servicio, como herramienta general de mapeo de procesos. Se puede utilizar para elaborar un diagrama de relaciones, si se desea, así como algunos de los paquetes de computo que lo acepten (a veces de manera aproximada) pueden llevar a una conversación en forma automática, ayudando a la elaboración del software..
Diagrama SIPOC.	Técnica que permite identificar cuales son los suministradores del proceso en cuestión, las entradas de cada suministrador al proceso, el proceso propiamente dicho o sea las etapas o fases del proceso, las salidas que emite el mismo y los clientes externos e internos que reciben estas salidas. En muchos estudios se identifican los requerimientos de calidad que desea el cliente para cada una de las salidas, se utiliza fundamentalmente para identificar las variables de entradas y de salidas para un posterior análisis de estas y además a partir de la fases generales del proceso que se definen realizar análisis mas detallados de estas fases posteriores en la gestión de procesos.
Análisis de Flujo de Datos (AFD) o Diagrama de Flujos de Datos (DFD)	El AFD estudia el empleo de los datos en cuatro actividades. Documenta los hallazgos con Diagrama de Flujos de Datos (DFD) que muestra en forma grafica la relación entre procesos y datos, y en los diccionarios de datos que describe de manera formal los datos del sistema y los sitios donde son utilizados. El análisis de los flujos de datos examina el empleo de los datos para llevara a cabo procesos específicos de la empresa dentro del ámbito de una investigación de sistemas.

Oportunidades de diversificación: En la EA. Elpidio Gómez.

Meta: Aumentar los beneficios ecológicos, económicos y sociales.

Responsable General: Director General.

Qué	Quién	Cómo	Porqué	Donde	Cuando
Generación de Electricidad con Bagazo Sobrante.	J/ Área	Proceso de condensación en el Pre-evaporador	Venta de energía eléctrica.	Ingenio	2009
Instalar Planta de Alimento Animal Miel-Urea-Bagacillo.	Director de Inversiones	Plan de Inversiones	Venta de Alimento Animal.	Ingenio	2010
Instalar Planta de Bagazo Desmedulado.	Director de Inversiones	Plan de Inversiones	Venta de bagazo desmedulado	Ingenio	2010
Adquirir y montar una turbina de condensación para el aumento de la Generación de electricidad.	Director de Inversiones	Plan de Inversiones	Venta de energía eléctrica y estabilización del proceso de producción.	Ingenio	2010
Uso de la paja como alimento Animal	Dtor. De Inversiones	Plan de Inversiones	Venta de alimento animal.	Ingenio	2010
Uso de la paja como Combustible.	Director de Inversiones	Plan de Inversiones	Venta de Energía Eléctrica.	Ingenio	2010

BIBLIOGRAFÍA:

CORREIA, L.E, 1991. Programa brasileño de alcohol. Problemas y consecuencias técnico - económicas. En México.

FABELO, J, 1999. Estudio de la etapa de Fermentación alcohólica utilizando mezcla de diferentes sustratos.

FUENTES MORA, M, 1997. Determinación de la incertidumbre en el escalado y diseño de un combinado para la producción de aditivos oxigenados.

GALVEZ TAUPIER, L , 1997. *Esquemas flexible para la producción de azúcar, derivados y energía,*

GÁLVEZ TAUPIER, L. O, 1988. *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar,* GEPLACEA. México.

GÁLVEZ, L., 1996. La diversificación y sus ventajas comparativas. En República Dominicana.

GALLARDO, I, 1980. "Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel".

GONZALEZ SUAREZ, E. , 1999. *La incertidumbre en el desarrollo diversificado de la industria de la caña de Azúcar,* Centro Azúcar. Santa Clara .

GONZALEZ, E, 1998. El pulpeo con etanol como alternativa para incrementar la competitividad de fábricas de papel mediante su desarrollo prospectivo integrado a industrias de la caña de azúcar. .

GONZÁLEZ, E, 1996. "Prospectiva Tecnológica en la industria Química y Azucarera de Cuba". . En UCLV Santa Clara, Cuba,

GONZÁLEZ, E, 1995. Alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la industria azucarera mediante el incremento de la producción de alcohol". En Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- GONZÁLEZ, E, 1996. Prospectiva Tecnológica de la Industria Azucarera. En República Dominicana.
- GONZÁLEZ, E, 1991. Utilización del Análisis de Procesos en la Intensificación de la producción de distintas industrias de Cuba.
- GONZALEZ, E., 1997. Contribución de la prospectiva tecnológica de la industria química y azucarera a al política científica y tecnológica de la Universidad de Las Villas. En La Habana.
- GONZÁLEZ, E. & M. B.REYES,. E. ROSA, 1997. *Necesidad y perspectiva en la diversificación azucarera en Cuba*, CENTROAZÚCAR.
- GONZÁLEZ, E., , LABORDE, M & ACEVEDO, L , 1999. Integración material y energética de la industria de la caña de azúcar.
- LABORDE, M, 1996. Producción de aditivos oxigenados para Gas oíl y otros combustibles a partir de Bioetanol.
- LUGO RUIZ, L, 1996. Estudio de la Factibilidad económica de producción de PVC en Cuba.
- MACHADO BENAVIDES, S, 1998. Alternativas para la producción de alcohol y levadura torula en las condiciones del CAI Q. Banderas.
- PAJON POBLET, M, 1998. Impacto prospectivo del pulpeo con etanol en el desarrollo integrado de la industria de la caña de azúcar.
- PEDRAZA GARCIGA J, 1997. Estrategia para el diseño de una planta para la producción de ácido fosfórico en condiciones de incertidumbre.
- Ponce de León, Zedillo, 1944. Mensaje del Secretario Ejecutivo de GEPLACEA al Seminario Internacional.
- REYES ESTRADA, R. , 1998. Posible impacto económico de la extracción de jugo de los filtros del CAI Heriberto Duqueznas.
- ROSA DOMINGUEZ, E, 1996. Análisis de alternativas de Inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos.

RUDD, D.F & C.C. WATSON, 1965. *On Correctives for Project Uncertainty*, Canada J.

RUDD, D.F & C.C. WATSON, 1980. *Strategy of Process Engineering*, E.R., La Habana.

SANTOS, R., E, PÉREZ, E. ROSA & PEDRAZA, J, "Estudio de la Fiabilidad en la Planta de Torula del CAI "Perucho Figueredo".