

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”



Facultad de Ingeniería
Departamento de Química

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

**TÍTULO: PROPUESTA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS A PARTIR DE CACHAZA
EN LA UEB CENTRAL AZUCARERO “ELPIDIO GÓMEZ”.**

Autor: Marcos Antonio Cuellar González

Tutor/es: Dr.C Fernando Efrén Ramos Miranda

Cienfuegos

Año 2016

AGRADECIMIENTOS

Esencialmente a mi tutor Fernando por estar todo este largo tiempo brindándome toda su ayuda incondicional y paciencia.

A toda mi familia, a mi padre Nelson, a mi hermana Leticia, a mi mujer Sayme y esencialmente a mi madre Xiomara por darme la vida y convertirme en el hombre que soy.

A todos mis profesores de la carrera que a los cuales les debo todos los conocimientos alcanzados en estos cinco años.

A mis compañeros de aula y a mis amigos más cercanos que siempre me apoyaron cuando más lo necesite, Aymara, Claudia, Yasiel, Alejandro, Raúl, Arianna, Adisleydis, Nilda, Casañas, y muchos más.

A todo aquel que de una forma u otra contribuyeron a la realización de mi sueño, graduarme para llegar a ser un buen profesional.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mi mamá por ser la persona que siempre confió en mí y me brindó desde pequeño su guía y amor incondicional, por lo que estoy eternamente agradecido con ella.

A mis dos abuelitos, Elida Rosa y Pepe Cuellar, que los perdí en este año fatídico, los cuales los ame con la vida, y los mantengo siempre a mi lado, para ellos es este triunfo de mi vida.

A mi hermana Claudia, que aunque siempre estamos mortificándonos nos queremos al final.

A mi mujer, Sayme, por estar ahí junto a mí siempre y brindarme su consejo oportuno aunque yo sea un poco testarudo.

A toda mi familia de Pinar del Rio, de Junco Sur, a mis tíos y a mis primos, a todos ellos gracias.

RESUMEN

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio de las potencialidades energéticas de la cachaza, residuo del proceso de obtención del azúcar de caña, para la obtención de biogás. Para el análisis se tuvo en cuenta los resultados obtenidos por investigadores de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas y otros aplicados al estudio de caso UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez". A partir de los volúmenes de cachaza proyectados, se realizó el dimensionamiento de una planta para la producción de biogás y su aprovechamiento en los hornos de la propia entidad. Se propuso el proceso tecnológico con el consiguiente impacto económico, energético, medioambiental y social que el mismo generará. Se calcularon los beneficios económicos obtenidos a partir del bagazo dejado de consumir y vendido, los residuos vendidos como fertilizantes y los certificados de emisiones de CO₂ reducidos (CER). En el proceso de cálculo se obtuvo el coeficiente de Williams obtenido tiene el valor de 0,8 utilizado en los cálculos de los costos de la inversión propuesta. Este coeficiente no ha sido reportado por la literatura anteriormente. Los volúmenes de este residual y las posibilidades de introducción de la propuesta, hacen que la misma deba ser tomada en cuenta como una variante para el manejo de este residuo industrial.

Palabras Claves: CACHAZA; BIOGÁS; BIODIGESTORES.

ABSTRACT.

Presently work was carried out a study of the energy potentialities of the sugar cane filter press mud, residual of the process of obtaining of the cane sugar, for the obtaining of biogas. For the analysis it was kept in mind the results obtained by investigators of the Universidad Central de Las Villas Marta Abreu and others applied to the study of case UEB "Elpidio Gómez" sugar mill. Starting from the volumes of cachaza projected, it was carried out the size of a plant for the production of biogás and the use in the boilers of the own entity. It was proposed the technological process with the economic, energy, environmental and social impact will generate. The economic benefits were calculated starting from the no consumed bagasse and sold, the residuals sold as fertilizers and the certificates of emissions of reduced CO₂ (CER). In the calculation process, the coefficient of Williams was obtained for this process type (0,8), used later on in the calculations of the costs of the proposed investment. This coefficient has not been reported previously by the literature. The volumes of this residual and the

possibilities of introduction of the proposal, make that the same one should be had in account as variant for the handling of this industrial residual.

.

Key Words: CACHAZA; BIOGAS; BIO-DIGESTERS

ÍNDICE

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y SUS POSIBILIDADES ENERGÉTICAS	4
1.1 La Industria Azucarera en Cuba	4
1.2 El Bagazo como opción energética.....	6
1.3 El Biodiesel a partir de la cachaza.....	7
1.4 Actualidad del biogás en Cuba	7
1.5 Características del biogás	8
1.6 Etapas de la fermentación anaeróbica.....	8
1.7 Parámetros que afectan al proceso.....	10
1.8 Usos del biogás	13
1.9 Los biodigestores en Cuba	14
1.10 Evolución de las plantas de biogás hacia nuevos modelos basados en el concepto de biorefinería.....	16
1.11 Características de la cachaza.....	17
1.12 Factores agroindustriales que influyen en la composición de la cachaza	18
1.13 Almacenamiento, manejo y uso de la cachaza.....	19
1.14 El Análisis Multicriterio, la toma de decisiones y el Método Delphi	19
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS.....	21
2.1 Metodología.....	21
2.2 Método seleccionado para la toma de decisiones	24
2.2.1 Cálculo del número y selección de los expertos	25
2.2.2 Rondas y listado de las alternativas a evaluar	27
2.2.3 Confección de la matriz de los expertos	28
2.2.4 Prueba de concordancia de los expertos.....	29
2.2.5 Cálculo de concordancia de Kendall y prioridad de las alternativas	29
2.2.6 Validación del criterio de expertos mediante la prueba de hipótesis	30
2.3 Instalación objeto de estudio	31
2.4 Selección de los indicadores económicos.....	32
2.5 Indicadores de los cálculos de inversión	35
2.6 Consideraciones ambientales y sociales	36
2.7 Introducción al caso de estudio	37

2.8	Metodología de cálculo de una planta de biogás	38
CAPITULO 3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA		
		42
3.1	Selección de los expertos	42
3.2	Aplicación del Método Delphi	43
3.3	Ventajas de la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez" para la puesta en marcha del proyecto.....	45
3.4	Resumen del diagnóstico	46
3.4.1	Resumen del estudio de capacidades de la UEB.....	46
3.4.2	Resumen de la proyección cañera e industrial	47
3.4.3	Resumen del balance masa actual.....	47
3.4.4	Resumen del balance de materiales de la UEB con la alternativa seleccionada.....	50
3.5	Resultados obtenidos de la planta de biogás.....	51
3.6	Cálculo de los indicadores económicos.....	51
3.6.1	Costos de Inversión	51
3.6.2	Costos de producción	51
3.6.3	Resumen de la evaluación económica	51
3.7	Impacto ambiental y social.....	52
3.8	Análisis de los resultados	53
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES.....		56
BIBLIOGRAFÍA.....		57
ANEXOS		61

INTRODUCCIÓN

En la actualidad gracias a las políticas de cambio de la Revolución, el sector azucarero está en pleno auge, ejemplo de ello es la puesta en marcha de la U.E.B Central Azucarero "Elpidio Gómez" paralizada por mucho tiempo. Esta entidad no está ajena a nuevos retos, pero con el apoyo de la dirección del país ha logrado insertarse en la aplicación de las nuevas tecnologías de manera gradual. Se ha continuado consolidando el proceso de reordenamiento económico acumulando 9 años de experiencia en la aplicación de la Dirección por Procesos.

Las nuevas misiones recibidas de la dirección del país de convertir las fábricas de azúcar en biorefinerías de forma escalonada hace que se analicen oportunidades de negocio que no se consideraran antes, éstas se conciben como la base tecnológica de una nueva industria basada en la biomasa.

Ante las transformaciones que han tenido lugar en el sector, se impone analizar las nuevas oportunidades de negocios mediante una nueva estrategia en los aspectos vinculados en cuanto a los precios y a la calidad, que sitúan a la entidad y sus producciones y servicios, en una situación más competitiva por sus resultados de eficiencia y eficacia, logrando ubicarse en un eslabón importante en la producción de alimentos del municipio de Palmira y la provincia de Cienfuegos con un significativo aporte a los planes nacionales de consumo interno y exportación. Dos objetivos del momento actual son reducir los costos de producción y la satisfacción del mercado exportable y nacional que conducen al central a un incremento de la diversificación de la producción industrial, y prepararse a fondo para enfrentar estos retos.

Otra de las producciones estudiadas por el país es la digestión anaerobia, de la cual se obtiene el biogás, que a pesar de ser conocida desde el siglo XVIII se comenzó a aplicar relativamente recientemente en el campo y a escala industrial, lo cual se atribuye a las exigencias físicas, químicas y microbiológicas del proceso (Ferreira, 1995).

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que intervienen en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose importantes avances en el campo tecnológico.

Cuba está entre los países latinoamericanos de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales agropecuarios. El potencial de biogás en las condiciones

actuales está en el orden de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, proveniente de unos 78 millones de m³ de vertimientos y biodegradables que constituyen hoy en día, en su conjunto, una de las principales fuentes de descontaminación del país (Ramos, 2014).

La primera planta de biogás en Cuba se construyó en San Antonio del Sur, Provincia de Guantánamo, con un digestor alimentado con las excretas de unas 10 o 15 vacas, el cual beneficiaba unas siete familias que usaban el biogás producido para la cocción de los alimentos. Posteriormente se reportan estudios dedicados a la obtención de biogás a través de la cachaza (Barreto-Torrella, Rodríguez, & Oquendo-Ferrer, 2006), sin embargo la utilización de cachaza no es todavía una prioridad de las entidades productoras, y por esa razón se ha demorado su utilización. Entonces planteamos el siguiente problema a resolver: ***No existe en la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez" una propuesta para la utilización y manejo de la cachaza como fuente energética.***

Asociado al problema anterior se plantea la siguiente hipótesis:

Si se aprueba la propuesta de una planta de biogás en la U.E.B Central Azucarero "Elpidio Gómez", brindaría una alternativa de desarrollo energético, para obtener mejores ganancias, posibilidades socio económicas y de mejoramiento social y ambiental.

Como consecuencia del problema se desarrollan como objetivos los siguientes:

Objetivo general.

La propuesta de una instalación de biogás a partir de cachaza para producir biogás creará un nuevo valor y oportunidades de negocios en la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez".

Objetivos Específicos.

1. Realizar un estudio bibliográfico sobre el diseño de una planta de biogás y de forma específica con cachaza. Revisar las propuestas de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
2. Evaluar diferentes tipos de diseño y prototipos de trabajo.
3. Realizar un diagnóstico y evaluación de estos y proponer el más adecuado.
4. Hacer un estudio de la factibilidad económica, ambiental y social, que genere oportunidades de negocios para la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez".

El Diseño Metodológico de la Investigación seguirá las técnicas y herramientas del Análisis Multicriterio y el Ciclo de Proyecto, aplicando así parcialmente la metodología propuesta por (Ramos, 2014) validada en otras instalaciones del sector.

CAPÍTULO 1. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y SUS POSIBILIDADES ENERGÉTICAS

En el presente temario se analizaron los diferentes artículos, investigaciones, bibliografía existentes que aborden el tema de las biorefinerías en la actualidad en Cuba y en el mundo. Además se revisarán los principales conceptos vinculados, técnicas de producción así como metodologías a implementar que nos ayuden a la hora de tomar decisiones. También se abordarán planteamientos, criterios, sugerencias encontradas acerca de posibles afectaciones o limitaciones que obstruyan el buen funcionamiento de las biorefinerías así como la obtención de nuevos valores agregados que desarrollan nuevas oportunidades de negocios.

1.1 La Industria Azucarera en Cuba

Una de las primeras producciones de azúcar en Cuba, de las referencias buscadas, data del periodo 1801 a 1900, en el cual se fabricó como promedio 332 773 t de azúcar/año. Luego de haber finalizado la Guerra por la Independencia de Cuba, la industria azucarera cubana quedó totalmente destruida debido al estallido mambí. Al comienzo del siglo XX, entre 1901 al 1910 se produjo un pequeño auge con un total de 1300 093 t de azúcar producidas, y entre 1913 al 1920 con la construcción de nuevos ingenios se incrementó a 3 218 752 t, un crecimiento muy significativo. La Tabla 1.1 muestra las tendencias en el periodo prerrevolucionario del siglo XX.

Tabla 1.1 Producción azucarera en el siglo XX. Fuente (Ramos, 2014)

Periodo(años)	t/a de azúcar	Situación
1901- 1910	1 300 093	
1913-1920	3 218 752	Se hizo posible la construcción de nuevos ingenios
1921-1930	4 562 231	Construcción y modernización de nuevos ingenios
1931-1946	3 363 676	Ingobernabilidad, paros, huelgas
1947-1950	5 891 019	Subida de los precios por las guerra de Corea. Decae la producción en los E.U.A

En el transcurso de las décadas de 1960, 1970 y 1980 en Cuba se realizó un amplio proceso inversionista que permitió modernizar y ampliar gran parte la capacidad productiva de esta rama. Así es, que en la zafra de 1988-1989 se logró una producción de 8 100 000 toneladas de azúcar, con lo que esta actividad aportó el 20 % del

producto interno bruto (PIB) y se utilizó el 57 % de la superficie cultivable del país. Además, representó el 80 % de las exportaciones totales y mostró significativa importancia en el balance energético de la isla al demandar el 30 % del consumo de energía y suministrar el 10 % de la generación total de electricidad. Desde el punto de vista del balance de recursos laborales, se ocupó 14 % de la fuerza de trabajo total y 36 % de la empleada en la industria manufacturera. También se generaron 1,5 millones de toneladas de bagazo para la producción de derivados, principalmente papel y tableros.

En los años noventa se sintió una declinación productiva por efecto del colapso del campo socialista europeo y la extinción de la URSS, que determinó una abrupta caída en las importaciones de renglones vitales para el desempeño de esta actividad. En la zafra 2002-2003 se produjeron sólo 2,2 millones de toneladas de azúcar, lo que afectó sensiblemente a la economía dado los eslabonamientos existentes con el resto de las actividades productivas (ACOSTA, 2008). Todo esto trajo consigo el desarrollo de una política por parte del estado cubano para enfrentar esta difícil etapa, fueron desmantelados alrededor de 70 ingenios azucareros con una tecnología obsoleta, correspondiente a los años 1930 y 1940. Además, la producción azucarera se había utilizado como garantía para la obtención de préstamos externos y se consideraba el principal motor de la economía cubana a finales del siglo XIX y el XX hasta el Período Especial; además el azúcar constituyó el principal renglón de exportación para Cuba. El Estado asumía todas las utilidades, y asignaba las necesidades del sector. Luego, la desestimulación en la agricultura debido a los bajos salarios, la falta de recursos, de fertilizantes y productos químicos, y la permanente sequía (unido a la destrucción de los sistemas de regadío) hizo que la producción azucarera nacional descendiera a niveles por debajo de los dos millones de toneladas de azúcar varios años. De 156 fábricas quedaron 54 y una decena de fábricas especializadas. En la actualidad, ese sector, está tomando de nuevo un incremento significativo impulsado por los nuevos cambios en la política económica cubana; ejemplo de ello, lo constituye la Unidad Empresarial de Base: Central Azucarero “Elpidio Gómez”, el cual volvió a procesar caña en la zafra 2015-2016.

A juicio de muchos expertos, resulta de vital importancia rescatar la mayoría de las fábricas de azúcar que existían en Cuba y dotarlos de tecnologías avaladas en busca de las alternativas para llegar a la eficiencia que necesita el sector. Sin embargo, desde la perspectiva del Desarrollo Sustentable, es necesario llevar a la par el desarrollo económico y social, en armonía con el medio ambiente.

La aplicación de buenas prácticas reporta positivos resultados económicos y ambientales que redunden en beneficio de los colectivos laborales y utilidades para la entidad, así como cumplir con las regulaciones del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). En el momento actual, los precios del mercado azucarero y sus derivados han logrado tener una relativa estabilidad, por lo que el desarrollo de los derivados de la caña de azúcar tiene gran importancia para la economía nacional cubana.

Es así que Cuba está enfrascada en el desarrollo y recuperación de estas producciones, de forma que sean competitivas y ganen un lugar en el mercado nacional y extranjero; esta es una vía para mejorar la situación de este sector tan importante en la economía nacional y que también tiene desde el punto de vista social y medio ambiental una repercusión directa, pues las fábricas de azúcar, las unidades cooperativas productoras de caña de azúcar vinculadas a ella y las unidades de servicios a la agricultura creados a partir de la transformación del MINAZ en AZCUBA, llevan el peso de la vida social de la zona donde están situados y son una importante fuente de empleo y desarrollo para estos territorios.(Ramos, 2014).

1.2 El Bagazo como opción energética

El bagazo se usó históricamente como combustible en la industria azucarera aunque su valor calórico es relativamente bajo al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales, no hay dudas de que constituye un valioso potencial energético, sobre todo, para aquellos países que no tienen disponibilidades significativas de combustible y a la vez son grandes productores de azúcar de caña. Por otra parte, la existencia cada vez menor de materiales fibrosos para ser empleados como materia prima en la industria de derivados y su carácter renovable, han estimulado en las últimas décadas un proceso acelerado de desarrollo en la utilización del bagazo en las producciones de pulpa, papel y productos aglomerados. Tienen relevante importancia en la alimentación animal y potencialmente puede convertirse en la materia prima que garantice el desarrollo de diversas producciones como carbón activado y productos moldeados, entre otros. Se ha demostrado la posibilidad de satisfacer las demandas energéticas de un central con casi la mitad del bagazo que produce, por lo que el sobrante puede ser utilizado como materia prima, incluyendo el propio biogás. En esta alternativa se recomienda desmedular la mayor cantidad posible en el central azucarero y retornar el bagacillo a las calderas, para entregar la fracción fibrosa a la industria de los derivados. La utilización del bagazo en dicha industria depende, en primer lugar, del costo y las características del producto a obtener, pero es necesario

tener en cuenta las operaciones de transportación, desmedulado y almacenamiento íntimamente relacionadas (Gálvez et al., 2002).

1.3 El Biodiesel a partir de la cachaza

El biodiesel es un producto que ha tomado relevancia a nivel internacional a partir de la crisis experimentada por los combustibles fósiles, producto de los problemas ambientales que trae consigo la combustión de estos, de su escasez y su precio en el mercado. Este combustible alternativo, desde sus inicios y cada vez con mayor fuerza, ha despertado fuertes polémicas en todo el mundo, fundamentalmente acerca de las materias primas empleadas para su producción, algunas desventajas del proceso productivo y algunos inconvenientes en el funcionamiento del motor diésel. Se han estudiado diversas fuentes para la obtención del biodiesel, la mayoría de las cuales atentan de una forma u otra contra el desarrollo alimenticio de los países, principalmente los menos desarrollados, que dependen en gran medida de la agricultura, disparando los precios de los granos y semillas, además elevan los costos de producción de los alimentos grandemente; esta es la causa fundamental de la crítica de los detractores de este combustible. No es el caso del biodiesel a partir de la cachaza (Feyt, 2007).

La cera de la caña es una fuente de ácidos grasos que no ha sido objeto de atención a nivel mundial para la producción de este combustible renovable, los ésteres de ácidos grasos presentes pueden ser transformados mediante una reacción química a alquil-ésteres (biodiesel). La cantidad de cera presente en la cachaza oscila aproximadamente entre un 10 % y un 12 % en peso y presenta algunas ventajas para su empleo como sustrato pues su costo es muy bajo debido a que proviene de un residuo agroindustrial, tiene bajo contenido de ácidos grasos libres que pueden perjudicar la reacción y presenta una gran disponibilidad en el país.

Una de las limitaciones en la producción de biodiesel, está dada por los altos precios de los aceites convencionales y por las etapas de purificación de los productos secundarios. La utilización de la cera de cachaza como fuente para la producción de biodiesel es una forma de obtener un biocombustible sin utilizar como materia prima fuentes de alimentos, ni emplear tierras para el cultivo con este fin (Samper, 2007).

1.4 Actualidad del biogás en Cuba

En los últimos años se ha intensificado en nuestro país el uso del biogás a partir del manejo de los residuos orgánicos, lo cual ha contribuido a las acciones realizadas para minimizar la emisión de los gases de efecto invernadero. Según (Sosa, 2014), señaló

que esta mezcla de gases constituye un proceso natural que el ser humano ha perfeccionado mediante la búsqueda de sistemas ingenieriles para aprovecharlo. De esta forma, se desarrollan acciones orientadas a promover la utilización del biogás en el sector estatal y en el cooperativo-campesino, a partir del tratamiento correcto de los residuales porcinos y agropecuarios.

1.5 Características del biogás

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono. Se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica, en ausencia del aire, por la acción de un grupo de microorganismos. En la naturaleza existe una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales puede obtenerse el biogás.

La composición del biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procese, en este caso es de los desechos agroindustriales. Su composición promedio se muestra en la Tabla 1.2 (Gálvez, 2000).

Tabla 1.2: Composición del biogás

Gas	% Volumen
Metano	54-70
Dióxido de carbono	27-45
Hidrógeno	1-10
Nitrógeno	0,5-3
Ácido sulfhídrico	0,1

El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Es el principal constituyente del gas natural pues más del 90 % de este combustible es metano.(Gálvez, 2000).

1.6 Etapas de la fermentación anaeróbica

La fermentación anaeróbica de la materia orgánica es un proceso complejo, realizado por microorganismos existentes en la naturaleza desde hace unos 3 400 millones de años, cuando la atmósfera todavía no tenía oxígeno y estaba compuesta por nitrógeno, dióxido de carbono, argón y vapor de agua. La materia orgánica constituye el sustrato de estos microorganismos. En la naturaleza, la fermentación anaeróbica puede tener lugar de un modo natural y espontáneo, produciendo, por ejemplo, el gas

de pantanos, el gas natural de yacimientos subterráneos o incluso el gas metabólico producido en el estómago de los rumiantes (Cuesta, 2008). Según (Pavlostathis, 1991) la fermentación anaeróbica de la materia orgánica consta de cuatro etapas en las que intervienen diferentes tipos de bacterias: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

➤ **La Hidrólisis**

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación de la materia orgánica compleja. En esta etapa, las bacterias hidrolíticas actúan sobre las macromoléculas orgánicas despolimerizándolas enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos. Así, los lípidos son degradados por enzimas hidrolíticas (lipasas) a ácidos grasos de cadena larga y glicerina. Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en proteosomas, péptidos y aminoácidos, y los polisacáridos son convertidos en monosacáridos.

➤ **Transformación Acidogénica**

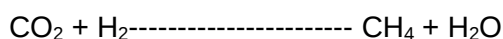
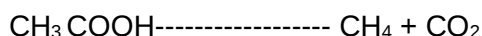
Los compuestos solubles obtenidos en la etapa anterior son transformados por las bacterias acidogénicas en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), alcoholes, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. Los ácidos grasos volátiles son principalmente ácido acético, propiónico, butírico y valérico. En esta etapa se debe controlar la cantidad de hidrógeno, porque el metabolismo de las bacterias acidogénicas depende de él.

➤ **Transformación Acetogénica**

Mientras que algunos productos de la fermentación (hidrógeno y ácido acético) pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, los productos intermedios (ácido propiónico, butírico, etc.) necesitan ser transformados en productos más sencillos, a través de las bacterias acetogénicas. Como principales productos se obtienen ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono que, posteriormente, pueden ser aprovechados por las bacterias metanogénicas. Las bacterias acetogénicas también necesitan un control exhaustivo de la concentración de hidrógeno, ya que con una elevada presión de hidrógeno se reduce la formación de acetato, produciendo preferentemente ácido propiónico.

➤ Transformación Metanogénica

En la etapa final del proceso, las bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas. Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas).



La principal vía de producción de metano es la primera, con alrededor del 70 % del metano producido. Este es un proceso lento y constituye la etapa limitante del proceso de degradación anaeróbica.

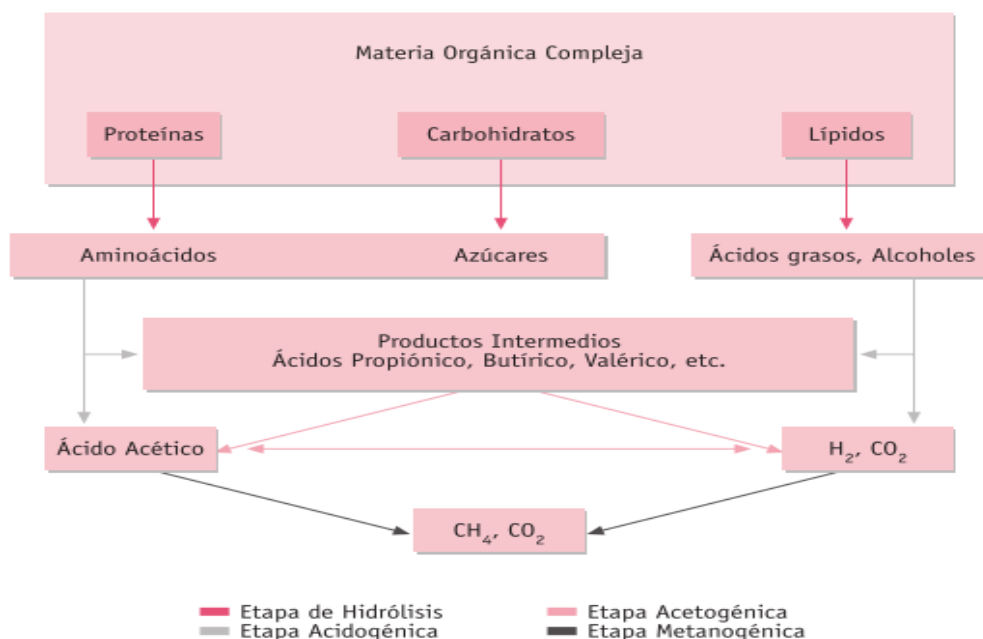


Figura 1.1 Etapas de la fermentación anaeróbica. Fuente: (Pavlostathis, 1991).

1.7 Parámetros que afectan al proceso

Los factores físicos y químicos que condicionan este proceso son varios. Entre los más importantes caben destacar los siguientes: nutrientes, temperatura, pH, contenido en sólidos, tiempo de residencia, presencia de compuestos inhibidores del proceso y agitación.

➤ **Nutrientes**

Para el desarrollo del proceso se necesita, además de una fuente de carbono y energía, la presencia de una serie de nutrientes minerales (nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc.). En el medio a digerir debe haber una relación adecuada entre nutrientes para el desarrollo de la flora bacteriana. La relación carbono/nitrógeno (C/N) debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, ya que valores inferiores disminuyen la velocidad de reacción. Para el fósforo la relación óptima es 150/1. Normalmente, la FORSU, los residuos ganaderos y los fangos de depuración de aguas residuales presentan nutrientes en las proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos residuos industriales puede ser necesario la adición de dichos elementos o bien un post-tratamiento aeróbico (Cuesta, 2008).

➤ **Temperatura**

La digestión anaeróbica se puede llevar a cabo en un amplio intervalo de temperaturas, pero dependiendo del tipo de bacterias que se utilicen se pueden diferenciar tres intervalos diferentes. En general, el intervalo mesofílico es el más utilizado, pese a que en el termofílico es donde se tiene la mayor producción de biogás. Esto es debido a la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas, lo que conlleva a un mayor control del sistema y, por tanto, a una actividad más costosa. Por otro lado, en este intervalo de temperatura el mantenimiento del sistema consume más energía que la que puede proporcionar el gas resultante.

Tabla 1.3: Intervalos de temperatura en el que trabajan las bacterias anaeróbicas.
Fuente: (Gmbh, 1999)

Bacterias	Rango de temperaturas	Sensibilidad
Psicrofílicas	Menos de 20 °C	+/-2 °C/hora
Mesofílico	Entre 20 °C y 40 °C	+/-1 °C/hora
Termofílicas	Más de 40 °C	+/- 0,5 °C/hora

➤ **El pH**

Es uno de los parámetros de control más habituales debido a que en cada fase del proceso los microorganismos presentan máxima actividad en un intervalo de pH diferente. Así, el intervalo de pH óptimo de los microorganismos hidrolíticos es entre 7,2 y 7,5, para los acetogénicos entre 7 y 7,2 y para los metanogénicos entre 6,5 y 7,5.

➤ **Contenido en sólidos**

Es también un factor determinante, ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y, por lo tanto, pueden verse afectadas la eficiencia y producción de biogás. Sin embargo, se puede encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

➤ **Tiempo de retención**

Se define como el tiempo que el sustrato está sometido a la acción de los microorganismos en el reactor. Cabe indicar que este parámetro sólo puede ser claramente definido en los sistemas discontinuos (*batch*), donde el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor. En los digestores continuos y semicontinuos, como funcionan en condiciones estacionarias, la variable tiempo definida en el reactor discontinuo se reemplaza por el tiempo de residencia, que se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. El tiempo de residencia indica, por tanto, el tiempo que el sustrato permanece por término medio en el digestor. Este parámetro está íntimamente ligado con el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y, consecuentemente, serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

➤ **Inhibidores**

Existen una gran cantidad de sustancias que pueden inhibir la digestión anaeróbica. Entre ellos, cabe destacar el oxígeno, aunque su efecto inhibitor no es permanente,

ya que en la flora bacteriana existen microorganismos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. Asimismo, si la biomasa es rica en nitrógeno, se puede producir un exceso de amoníaco que inhibe el proceso. Otros inhibidores son los metales pesados, que actúan sobre los microorganismos metanogénicos. Además, algunas sustancias orgánicas, como antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones, pueden inhibir el proceso. Por último, una concentración elevada de ácidos volátiles puede producir un efecto inhibidor (Cuesta, 2008).

En la Tabla 1.4 se representan los valores de concentración inhibidora de los inhibidores más habituales. Estos valores son orientativos, ya que las bacterias se pueden adaptar con el tiempo a las condiciones más desfavorables.

Tabla 1.4: Valores de las concentraciones de inhibidores comunes. Fuente: (Gmbh, 1999).

Inhibidores	Concentración Inhibidora, (mg/ml)
Sulfuro(como azufre)	200
Cu	10-250
Cr	200-2 000
Zn	350-1 000
Ni	100-1 000
Na	8 000
Ca	8 000
Mg	3 000

1.8 Usos del biogás

El biogás, por su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, operar maquinarias agrícolas, bombear agua y generar calor y energía eléctrica.

Si el biogás se va a quemar directamente, sólo es necesario eliminar las gotas de agua en suspensión que son arrastradas por el gas al salir del digestor. Cuando se emplea como combustible en un motor de combustión interna, es necesario eliminar las trazas de ácido sulfhídrico. En el caso de los motores diésel, se recomienda operarlos en forma dual, es decir, 85 % biogás y 15 % diésel, para prevenir daños en los inyectores.

La utilización del biogás en equipos comerciales requiere de adaptaciones sencillas para quemarlo de manera eficiente (Gálvez, 2000).

1.9 Los biodigestores en Cuba

Actualmente Cuba cuenta con mil biodigestores aproximadamente, entre el sector estatal y el cooperativo-campesino. Todas aquellas instalaciones técnicamente diseñadas que producen biogás son denominadas plantas de biogás o biodigestor. Un biodigestor es una instalación donde se garantiza la digestión anaerobia o la no inclusión de aire para procesar y tratar residuos y excretas, y que a su vez está diseñada para aprovechar el biogás y el material orgánico (efluente), obtenidos de las reacciones bioquímicas. El tratamiento de los residuos constituye actualmente una necesidad para evitar la contaminación del medio ambiente, además de traer consigo otras ventajas. El efluente, por ejemplo, puede ser empleado como fertilizante orgánico mientras que el biogás es un combustible que se utiliza para generar electricidad y calor.

Aunque ya hay instituciones como las empresas agropecuarias del Ministerio del interior (MININT) en Pinar del Río, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, que generan energía eléctrica con éxito e incluso entregan al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Actualmente existen tecnologías en el mundo que, por cada metro cúbico (m^3) de biogás entregan dos kilowatt hora (kWh), y otras relativamente grandes y eficientes que pueden generar $2,2 \text{ kWh/m}^3$.

En la historia de estas instalaciones en Cuba existen básicamente dos etapas. La primera vez que se emplearon fue en los años 80, con un proyecto realizado con las Naciones Unidas para las vaquerías, mediante el cual se construyeron alrededor de 500 unidades del tipo campana flotante. Esta cifra fue declinando motivado por un abastecimiento importante y oportuno de combustible de la antigua Unión Soviética.

Durante la década comprendida entre 1990 al 2000, el Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP) comenzó un proyecto con la colaboración de Alemania para la generalización de biodigestores del tipo cúpula fija o tipo chino y la capacitación de otras instituciones del país.

Actualmente Cuba cuenta con 1 000 biodigestores aproximadamente, entre el sector estatal y el sector cooperativo campesino. De ellos, alrededor de 800 son de cúpula fija y el resto tubulares. Los de cúpula fija o tipo chino requieren de una buena cantidad de materiales de la construcción, como cemento, áridos, bloques, ladrillos, acero, recursos que son necesarios para edificar viviendas. Además, en su realización

deben participar albañiles muy especializados, que respeten todos los detalles constructivos. Los tubulares son una especie de tubo flexible hecho con materiales que puede ser polietileno o Policloruro de vinilo (PVC), que solo necesitan instalarse en una zanja apropiadamente construida. Su realización es muy rápida y mucho menos costosa, lo que más demora es hacer los registros de entrada y salida.

Los biodigestores de cúpula fija se hacen en el país, mientras que los tubulares se importan, por un costo de 600 dólares la unidad, por lo cual se están desarrollando acciones de investigación y pruebas para fabricarlos aquí. Se buscan tecnologías económicas, efectivas, rápidas y que no tengan mucho margen de error humano. Actualmente hay unos nueve proyectos, en tramitación o en ejecución, con la colaboración del Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) de las Naciones Unidas que comprenden más de 500 unidades de este tipo que se van a instalar durante este año y el que viene. Estos proyectos se están trabajando conjuntamente entre el Grupo de Producción Porcina del Ministerio de la Agricultura (MINAG) y la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP). Las proyecciones previstas hasta el 2020 establecen la fabricación de mil biodigestores por año. Las estimaciones de los especialistas indican que la cantidad de biodigestores que funcionan en el país permite beneficiar entre 4 mil y 8 mil personas en el campo.

Actualmente se realizan licitaciones con empresas extranjeras para construir grandes plantas industriales (con el objetivo de tratar las aguas residuales porcinas), a partir de la importación de tecnologías. Estos sistemas tienen mayores requerimientos pues están compuestos de biodigestores de hasta 1 000 m³ de capacidad, equipos de bombeo y purificación de biogás, sensores, grupos electrógenos, etc. Está previsto que se hagan dos en Artemisa, una en Matanzas, una en Cienfuegos y dos en Santiago de Cuba. Actualmente existe una de estas plantas en el país, en el municipio capitalino de Marianao, donde se tratan residuos sólidos orgánicos de la ciudad. Este sistema dispone de un grupo electrógeno de 60 kilovolt-ampere (kVA) y genera electricidad para las necesidades internas de la empresa de Comunales que se encuentra en sus cercanías. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania (Sosa, 2014).

1.10 Evolución de las plantas de biogás hacia nuevos modelos basados en el concepto de biorefinería

La evolución de las plantas de biogás agroindustriales se enfoca hacia nuevos modelos basados en el concepto de biorefinería, es así que la digestión anaerobia está llamada a convertirse en una tecnología de gran importancia para el desarrollo de las futuras biorefinerías. Estas ya se emplean como tecnología auxiliar para valorizar corrientes residuales, pero debe potenciarse su uso como tecnología principal. El reto es replantear las plantas de biogás actuales ampliando su gama de productos finales yendo mucho más allá de la venta de la electricidad. Las empresas deben apostar por la innovación desarrollando el potencial de nuevas plataformas como la de los ácidos grasos volátiles, biogás y digerido, que permitirán en el futuro obtener desde bioplásticos, a biomasas de alto valor como las microalgas. La Unión Europea ha decidido utilizar las biorefinerías como instrumento clave en su objetivo de desarrollar una nueva bioeconomía para desplazar a la economía basada en el petróleo y ofrece muchas posibilidades para financiar proyectos demostrativos.

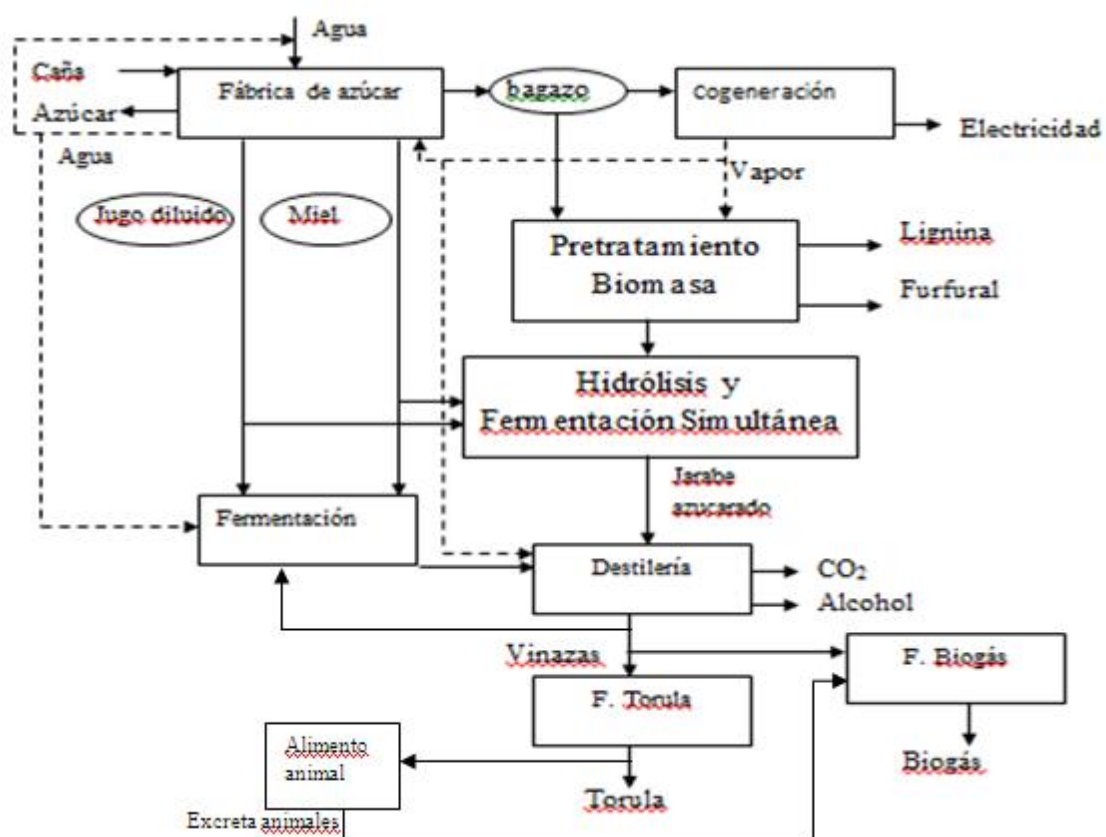


Figura 1: Esquema de biorefinería a partir de caña de azúcar. Fuente: Elaboración propia

1.11 Características de la cachaza

La cachaza se puede definir como el residuo en forma de torta que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña, durante la fabricación de azúcar crudo. El residuo que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido y con posterioridad se somete a filtración se le denomina cachaza primaria y cachaza final al residuo que se descarga de los filtros para ser desechado. Su constitución depende de varios factores: tipo de suelo, variedad de caña, tipo de cosecha (mecanizada o manual), grado de extracción del jugo, cantidad de cal y otros productos usados en la clarificación, métodos de filtración empleados y tamaño de los orificios de los coladores del jugo, entre otros.

Este subproducto de la producción azucarera contiene gran parte de materia orgánica coloidal dispersa en el jugo, la cual al alcalinizar se precipita con los aniones orgánicos en forma de sales de calcio, junto con otros materiales que son arrastrados en estos precipitados. En la Figura 2 se muestra el balance de los componentes de la cachaza donde se aprecia un alto contenido de agua (75 %), un 15 % de bagacillo y azúcares, 7 % de arcilla y cenizas, y el bajo por ciento (de 2 a 3) que representa la cera (Gálvez, 2000).

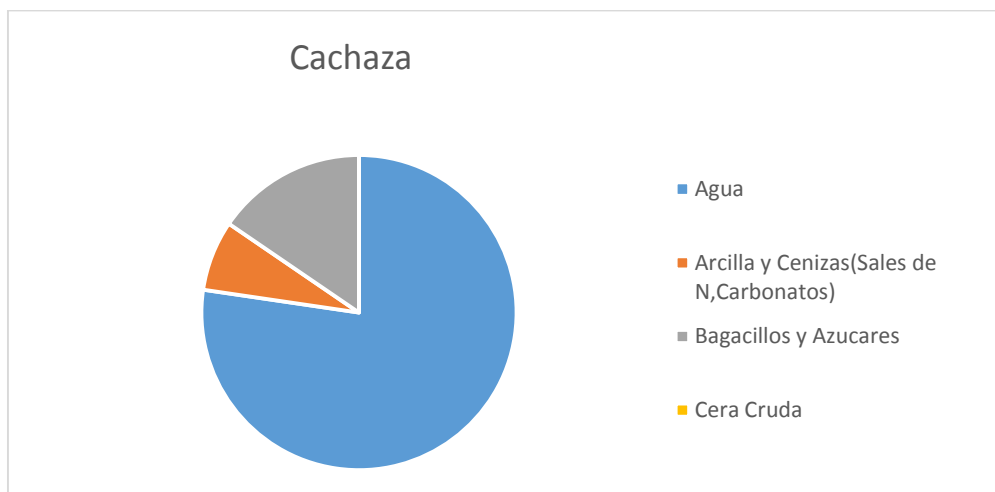


Figura 2: Composición de la cachaza

En la tabla 1.5 se muestra la composición de la cachaza de fábricas cubanas de azúcar, según estudios realizados por el ICIDCA, donde se puede apreciar su fluctuación de acuerdo con las condiciones de zafra.

Tabla 1.5 Composición de la cachaza de fábricas cubanas de azúcar

Componentes	Base Seca (%)	Contenido Producto Húmedo (%)
Proteína cruda	12-16	3-4
Extracto al benceno (cera, aceite y resina)	10-14	2,5-3,5
Cenizas	8-12	2-3
P ₂ O ₅	3-5	0,6-1,3
C _a O	2,5-5	0,5-1,3
Sacarosa y azúcares reductores	10-14	2,5-3,5
Bagacillo	18-25	4,5-6,25
Otros	25-35	6,2-8,7

1.12 Factores agroindustriales que influyen en la composición de la cachaza

- Variedad de la caña: El contenido de nitrógeno, fósforo y otros elementos dependen de la variedad de la caña, así como de la cantidad de materia cerosa, la cual varía de una especie a otra.
- Tipo de cosecha: El incremento en la mecanización aumenta la materia extraña que entra en la fábrica, y por lo tanto, incrementa el contenido de cenizas, materia orgánica y otros sedimentos que hacen variar la composición de la cachaza.
- Clima: La cera contenida en la caña aumenta en épocas de sequía, por ser su función la de proteger la evaporación de agua en la planta. En períodos de lluvia es arrastrada una mayor cantidad de tierra, lo que aumenta la materia orgánica.
- Temperatura del agua de imbibición en el proceso de molienda: El agua utilizada en el proceso de extracción de azúcares del bagazo generalmente se calienta, esto implica que el arrastre de materias solubles se efectúe con mayor facilidad.
- Proceso de clarificación: En dependencia de las sustancias químicas utilizadas en la clarificación de los jugos, así será la composición de los precipitados formados. Al utilizar cal, hay un mayor arrastre con los precipitados y se forman diferentes compuestos.

- Bagacillo añadido: Como la cantidad de bagacillo, añadido para ayudar a la filtración de la cachaza, no es fija, trae como consecuencia que el contenido de materia orgánica varíe.

1.13 Almacenamiento, manejo y uso de la cachaza

Es conocido que la cachaza cuando se almacena en grandes pilas puede sufrir paulatinamente el proceso de autocombustión, sin embargo, esparcida a 3 o 4 cm de espesor esto no ocurre, pues la cachaza por su carácter esponjoso presenta gran capacidad de aeración (Gálvez, 2000). La cachaza o torta de filtro es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, produciéndose de 30 a 50 kg por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa entre 3 y 5 % de la caña molida. Este porcentaje y su composición varían con las características agroecológicas de la zona, con el cultivar cosechado, eficiencia de fábrica, método de clarificación empleado, entre otros factores. Sin embargo, hay centrales azucareros en Venezuela que se salen de este rango en la producción de cachaza, registrando valores muy por encima del 5 % antes indicado. La cachaza es producida durante la clasificación que se hace al jugo de caña en la industria azucarera. Se recoge a la salida de los filtros al vacío, presentando aproximadamente un 25 % de materia seca. Este material contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo, conjuntamente con aniones orgánicos e inorgánicos que precipitan durante la clarificación. Otros compuestos no azúcares son incluidos en esos precipitados. La utilización más difundida es como fertilizante, a causa de la gran cantidad de nitrógeno, fósforo, calcio y materia orgánica en general, que aporta al suelo. En las plantaciones cañeras se han obtenido buenos resultados, también se utiliza en la alimentación de ganado vacuno previo secado al sol, aun cuando tiene un bajo valor alimenticio, y además en el ensilaje a partir de los residuos de agroindustria cañera. Otra de las aplicaciones de la cachaza es la extracción de cera con solventes orgánicos, para sustituir diferentes tipos de ceras naturales y derivadas del petróleo. Para estos fines se han instalado plantas en Filipinas, Taiwán, Cuba e India, entre otros países. También se han realizado estudios para determinar las posibilidades de obtener de la cachaza, aceites, resinas y productos esteroideos. Físicamente la cachaza es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua (Zérega, 2014)

1.14 El Análisis Multicriterio, la toma de decisiones y el Método Delphi

Según (García, 2004) el Análisis Multicriterio es muy utilizado para la toma de decisiones a la hora de emitir un juicio comparativo entre proyectos, también es usado

en el ámbito de evaluación, y es muy empleado en las definiciones de opciones de intervención. Actualmente existen en el mundo alrededor de 120 metodologías y herramientas asociadas al Análisis Multicriterio. La aplicación del Análisis Multicriterio a evaluaciones como el impacto ambiental y el impacto social son reportados en la literatura. Es muy importante también en la selección y adecuación de las herramientas que se utilicen para alcanzar los objetivos planteados. Algunas de estas deben ser desarrolladas por los propios investigadores, y en dependencia del uso que se le dé, la investigación tendrá un mayor impacto y éxito.

Según la bibliografía consultada uno de los métodos más efectivos y de mayor alcance para la selección de variantes, toma de decisiones y otras aplicaciones es el Método Delphi. Para la aplicación del método existe una metodología a seguir que consta de una serie de pasos lógicos que producirán el camino lógico hacia la toma de decisiones necesaria.

Los resultados del consenso en los estudios actuales Delphi utilizan una serie de estadísticas que no necesariamente hacen converger la opinión de los expertos. Con la asociación de conjuntos difusos al Método Delphi son resueltos los problemas de convergencia, de incertidumbre y vaguedad, bajo un enfoque no estadístico, además, se provee herramientas formalizadas para abordar la imprecisión intrínseca que presentan muchos problemas del entorno (Barrera, 2003). Este método llamado Delphi borroso o Delphi Difuso, ha sido utilizado en investigaciones de la ingeniería, economía, ciencias humanísticas y muchas más (Ramos, 2014).

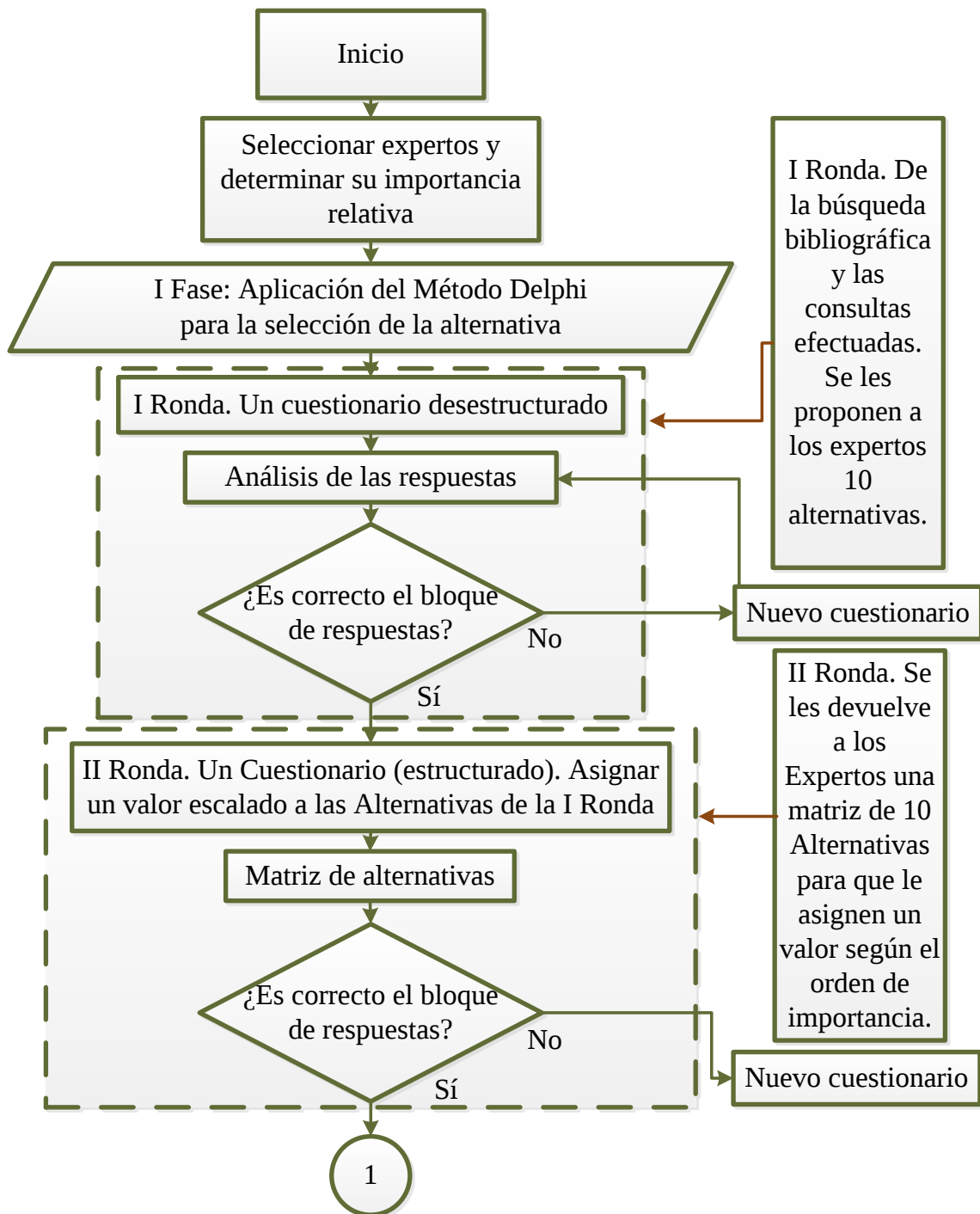
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS

2.1 Metodología

Generalmente, las metodologías estudiadas para analizar las mejores alternativas de propuesta de una planta de biogás, se basa en el estudio de las diferentes perspectivas que tienen las materias primas desde el punto del aprovechamiento de los residuos resultantes de las actividades agroindustriales de cosecha y tratamiento de la primera generación (Ramos, 2014). En un primer paso, se fundamentan en criterios económicos a partir de propuestas realizadas por asesores, grupos de proyectos, pero en muchos casos sin considerar directamente otros indicadores como impactos sociales, ambientales, etc. Para que la metodología que se proponga sea eficaz debe ser capaz de incorporar varios objetivos incluyendo la evaluación de indicadores cualitativos, además, debe ser flexible, realista y relativamente fácil de implementar.

En este capítulo se desarrollará la metodología mostrada en el diagrama heurístico de la Figura 2.1, que comienza con la aplicación del método Delphi para la selección de las alternativas a evaluar en la propuesta de una planta de biogás en una UEB que se seleccionará como caso de estudio y que también servirá para la validación de la misma.

La metodología desarrollada incorpora criterios de evaluación tanto económicos como medioambientales y sociales de la tecnología propuesta.



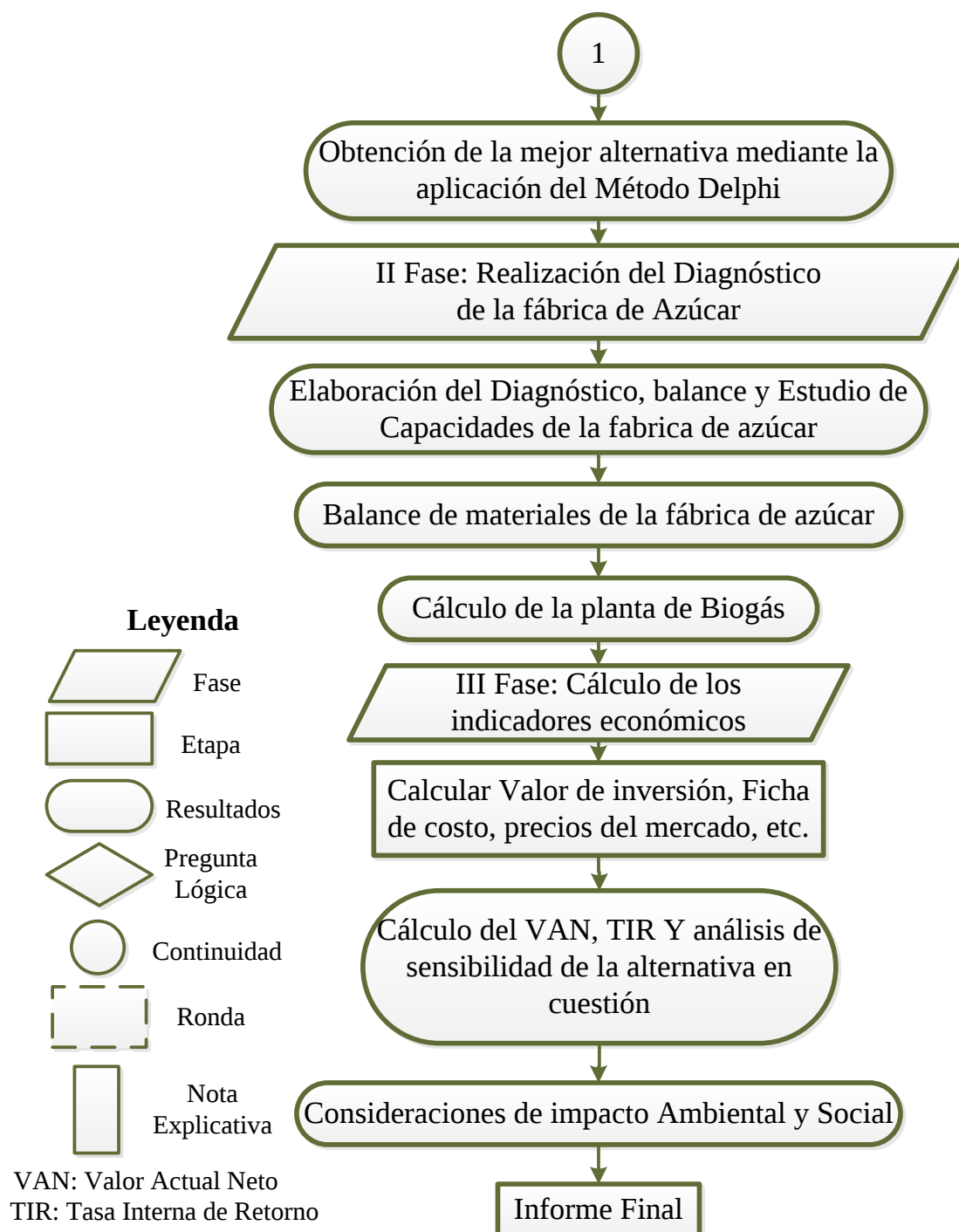


Figura 2.1: Diagrama Heurístico de la metodología propuesta.

2.2 Método seleccionado para la toma de decisiones

El Método Delphi está considerado como el método heurístico más efectivo y de mayor utilización para la toma de decisiones (Lorente, 2005), sin embargo se ha desarrollado poco para la decisión de alternativas tecnológicas cuando se quiere decidir el futuro de inversiones con relativo bajo costo.

Este método tiene como características fundamentales:

- Se establece un diálogo anónimo entre los expertos consultados individualmente, a través de cuestionarios o encuestas.
- La confrontación de opiniones se lleva a cabo mediante varias rondas.
- Los resultados de cada ronda se procesan estadísticamente.
- Existe retroalimentación entre los expertos mediante los resultados del cuestionario precedente.

Para la aplicación del método existe un procedimiento general que está compuesto por una serie de pasos lógicos que pueden definirse de forma general:

- Definición del problema, la hipótesis y los objetivos.
- Cálculo del número y selección de los expertos.
- Recopilación de la información a entregar a los expertos.
- Rondas, listado de las alternativas a evaluar.
- Validación del instrumento de medición.
- Confección de la matriz de los expertos.
- Prueba de concordancia de los expertos.
- Cálculo de concordancia de Kendall y prioridad de las alternativas.
- Prueba de hipótesis.

Con un estudio de caso mediante el método Delphi, se establecerá una forma lógica de obtener un primer nivel de aproximación en la toma de decisiones para la agroindustria azucarera.

2.2.1 Cálculo del número y selección de los expertos

Se realiza una selección de los expertos, así como la organización del grupo en correspondencia con las características y objetivos del trabajo.

Muchos estudiosos del tema plantean que la idoneidad y la competencia no están necesariamente vinculadas con la calificación científica ni el perfil ocupacional del experto, o que en realidad pueden incorporarse hasta obreros que tengan un gran dominio del tema. En este sentido se trabaja en algunos círculos científicos para adecuar la técnica a un universo más amplio, como lo es incorporar obreros de gran experiencia en el tema, pero es necesario insistir que esto lo define el problema a resolver y el objetivo que se persiga.

Para el cálculo y la selección de los expertos se ha seleccionado básicamente el método planteado en (Francisco, 2006).

El número de expertos M se determina empleando un método probabilístico y asumiendo una ley de probabilidad binomial.

$$M = \frac{p(1-p)^k}{i^2}$$

Donde i es el nivel de precisión alcanzado, se recomienda entre 0,14 y 0,5, p es la proporción estimada del error y k una constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza $(1-\alpha)$ seleccionado.

Tabla 2.1 valores de k

1- α	k
99	6,65
95	3,84
90	2,67

Tomando como base para el cálculo un error del 10 %, para un nivel de confianza del 95 % y el valor de i medio de 0,2 se calcula 9 expertos.

El coeficiente de competencia se calcula por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{1}{2} (k_c + k_a)$$

Dónde: k_c es el coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema, calculado sobre la valoración del propio experto en una escala del 0 al

10 y multiplicado por 0,1; de esta forma, la evaluación "0" indica que el experto no tiene absolutamente ningún conocimiento de la problemática correspondiente, mientras que la evaluación "10" significa que el experto tiene pleno conocimiento de la problemática tratada. Entre estas dos evaluaciones extremas hay nueve intermedias. El experto deberá marcar con una cruz en la casilla que estime pertinente, ejemplo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						x			

Ka: coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto, obtenido como resultado de la suma de los puntos alcanzados a partir de una tabla patrón.

Tabla 2.2 Tabla Patrón.

Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios		
Análisis teóricos realizados por usted.	0,3	0,2	0,1
Su experiencia obtenida.	0,5	0,4	0,2
Trabajo de autores nacionales.	0,05	0,05	0,05
Trabajo de autores extranjeros.	0,05	0,05	0,05
Su propio conocimiento acerca del estado del problema en el extranjero.	0,05	0,05	0,05
Su intuición.	0,05	0,05	0,05

Nota: Esta Tabla se le atribuye a la aprobada en febrero de 1971 por el comité estatal para la Ciencia y la Técnica de Rusia para elaboración de pronósticos científico-técnicos.

Al experto se le presentaría esta tabla sin cifras, orientándosele marcar con una cruz cuál de las fuentes él considera que ha influido en su conocimiento de acuerdo con el grado A, M o B. Posteriormente, utilizando los valores de la tabla patrón para cada una de las casillas marcadas por el experto se calcula el número de puntos obtenidos en total. De esta forma, si el coeficiente **ka** = 1, 0, el grado de influencia de todas las fuentes es alto, si **ka** = 0,8, es un grado medio y si es igual a 0,5, se considera con grado bajo de influencia de las fuentes. El coeficiente de competencia se encuentra en el rango $0,25 < k < 1$.

2.2.2 Rondas y listado de las alternativas a evaluar

En el estudio de caso estudiado, un ingenio azucarero de 2 875 t/d de capacidad, con una proyección cañera de 6 565,13 ha de área agrícola y una prospección cañera de 41-50 t / ha en 5 años. Se considera en las alternativas el uso de las vinazas de la destilería propuesta en (Perenzuela 2016) como proyecto conjunto a éste.

Se obtiene en las dos primeras rondas el siguiente listado de alternativas:

Alternativas de la primera ronda

1. Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás al comedor obrero, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
2. Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás a las calderas del ingenio, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
3. Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás al comedor obrero; la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
4. Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás a las calderas del ingenio, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
5. Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".
6. Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas de la entidad, el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují", el efluente líquido y el componente sólido es usado como fertilizante.
7. Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas de la fábrica de azúcar, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".
8. Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".
9. Un biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas de la empresa azucarera.

10. Un biodigestor con un gasómetro instalado alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas de la fábrica de azúcar.

2.2.3 Confección de la matriz de los expertos

A partir de la segunda ronda se comienza a precisar los valores que se le asignan a las alternativas del 1 al 10 en orden de importancia. La Tabla 2.3 muestra una forma de ordenamiento de la matriz conformada por la opinión escalada de los expertos para cada alternativa.

Tabla 2.3 Calificación atribuida por los expertos a cada alternativa tecnológica

Alternativas	Expertos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás al comedor obrero, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.									
Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás a las calderas del central, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente									
Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás al comedor obrero; la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.									
Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas de la fábrica de azúcar, que suministra biogás a las calderas del ingenio, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.									
Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".									
Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas de la fábrica de azúcar, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".									
Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas dela empresa azucarera, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".									

.									
Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".									
Un biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas de la fábrica de azúcar.									
Un biodigestor con un gasómetro instalado alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas de la fábrica de azúcar.									

2.2.4 Prueba de concordancia de los expertos

Hay dos formas de validar la concordancia de los expertos. Una es la concordancia C, que se aplica a los criterios de los expertos en cada alternativa según la formulación correspondiente, si se alcanza $C > 60 \%$ se acepta un buen nivel de consenso. Si en una segunda ronda no es alcanzado ese nivel de C es descartada esa causa respecto al consenso del ordenamiento. La expresión para el cálculo de C es como sigue:

$$C = \left(1 - \frac{V_n}{V_t}\right) \cdot 100$$

Dónde:

C: concordancia expresada en porcentaje.

V_n : cantidad de expertos en contra del criterio predominante.

V_t : cantidad total de expertos participantes.

Es necesario insistir a los expertos que no asignen igual número a dos alternativas diferentes, pues traería como consecuencia las llamadas ligaduras y complicaría más el método. Para revisar este punto se aconseja revisar (A. Cuesta, 2000).

2.2.5 Cálculo de concordancia de Kendall y prioridad de las alternativas

El valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre todos los expertos se determina por el estadígrafo Kendall. El valor ω oscila entre 0 y 1. Para valores mayores de 0,7 se debe aceptar la decisión, para valores entre 0,45 y 0,7 se debe continuar el análisis y para valores menores de 0,45 se deben rechazar las decisiones de los expertos.

Se calcula el coeficiente de concordancia de Kendall según:

$$\omega = \frac{12\sum\Delta^2}{M^2(K^3 - K)}$$

Dónde:

$$\Delta = (\sum A_{ij} - T)$$

T: factor de comparación (valor medio de los rangos) que se calcula $\frac{1}{2} M \times (K+1)$

K: es el número de alternativas a evaluar.

2.2.6 Validación del criterio de expertos mediante la prueba de hipótesis

La hipótesis de no concordancia es entre los expertos (H_0), según algunos autores (Lorente, 2005), en el caso de $n > 7$ puede probarse si se utiliza el criterio de si X^2 calculado $>$ X^2 tabulado se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos que está distribuida aproximadamente con una distribución chi-cuadrado con $n-1$ grados de libertad. Por lo que buscamos el percentil de significación prefijado en las tablas estadísticas (Bowker & Lieberman, 1964), (Hernández, Fernández, & Baptista, 1998).

Tabla 2.4 Prueba de hipótesis

# de alternativas	K	10
# de expertos	M	9
chi cuadrado calculado, x^2 calculado	$M(K-1)\omega$	66
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado	$X^2(0,01,19)$	21,7

Es necesario aclarar que otras herramientas se están iniciando para la prospectiva, la incertidumbre y el análisis de riesgo en las inversiones, algunas para simplificar el proceso y otras para obviar alguno de los tratamientos estadísticos, como el método Delphi Borroso.

Inconvenientes del Método Delphi

- En algunos casos su elevado costo.
- Su tiempo de ejecución (desde el período de formulación hasta la obtención de los resultados finales).
- Requiere una masiva participación para que los resultados tengan significancia estadística. Pero el grupo debe tener un alto grado de correspondencia con los temas a ser tratados en el ejercicio.

- Una parte crítica del método son las preguntas del cuestionario.
- Sesgos en la elección correcta de los participantes.
- Elevado número de deserciones debido al tiempo.

2.3 Instalación objeto de estudio

La selección del caso de estudio es importante para la investigación no solamente para llevarla a feliz término, sino también para poder validar la propia esencia (métodos y herramientas). Para seleccionar el caso de estudio es necesario estar seguro que cumpla los requisitos generales de capacidad, disponibilidad de materia prima y mercado y más tarde validar esta información con el diagnóstico correspondiente que incluya de forma indispensable el análisis de la proyección cañera, el estudio de capacidades y el balance de masa.

El estudio de capacidades puede ser abordado desde una perspectiva simple que abarca factores de diseño establecidos para estimar la capacidad de diseño de los equipos o mediante estudios cronológicos soportados por herramientas estadísticas entre otros.

Varios autores han investigado acerca de la importancia del balance de masa y energía en el proceso. En todos ellos se aprecia la importancia de aplicar formas novedosas que faciliten y agilicen las vías para alcanzar el objetivo investigativo (Nápoles et al., 2006).

La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints, TOC), fue creada en 1979, mediante la fusión magistral de varias técnicas de Dirección: Pensamiento, Sistémico, Teoría de Colas, Simulación, etc. (Leidinger, 2010).

El esquema del proceso agroindustrial azucarero, a la luz de Teoría de Restricciones, se vería como en la Figura 2.2.

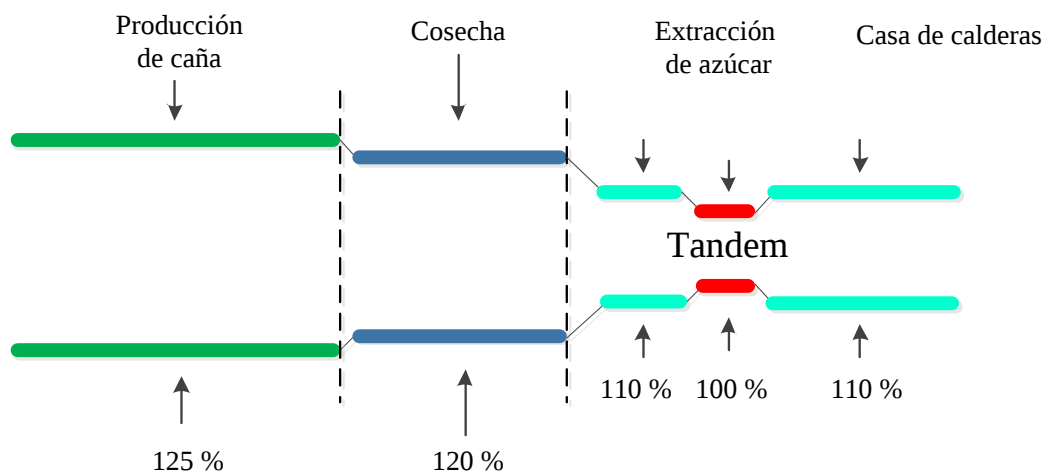


Figura 2.2 Esquema del estudio de capacidades de una fábrica de azúcar visto desde la Teoría de Restricciones (Ramos, 2014).

Por otra parte, el balance de masa es considerado por muchos especialistas en la materia como la llave del Proceso Azucarero y su calidad (Esturo, 2005). La aplicación y jerarquización como principio básico esencial en la operación e integración del proceso es indispensable.

De ahí su importancia para la propuesta de una planta de biogás se incrementa debido a lo complejo del proceso que involucra diferentes materias primas, variados productos, y energía.

2.4 Selección de los indicadores económicos

La evaluación económico-financiera de un proyecto, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea, si es o no factible o económicamente rentable y sí siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio, además de brindar elementos para decidir el tamaño de planta más adecuado.

Los criterios de evaluación que se aplican con más frecuencia por los analistas de proyectos consisten en comparar precisamente los flujos de ingresos con los flujos de costos y los mismos se clasifican en dos categorías generales que son las técnicas para el análisis de la rentabilidad de la inversión (con y sin financiamiento) y las técnicas para el análisis financiero.

A la primera categoría pertenecen los métodos actualizados como el valor actual neto y la tasa interna de retorno y a la segunda los análisis de liquidez.

El cálculo manual de los análisis financieros y de rentabilidad es muy trabajoso, con el riesgo a su vez de la posible introducción de errores de cálculo. Para evitar ello y aprovechando las ventajas que brinda las técnicas computacionales se han establecido programas de computación que de forma sencilla, precisa y rápida permiten obtener estos indicadores.

El valor neto actualizado o valor actual neto (VAN) se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos obtenidos durante la vida útil económica del proyecto a partir de la determinación por año de las entradas y salidas de divisas en efectivo, desde que se incurre en el primer gasto de inversión durante el proceso inversionista hasta que concluyen los años de operación o funcionamiento de la inversión.

Entre las diversas variantes posibles, conviene escoger la que ofrezca la RVAN más alta, o sea una relación mayor entre los ingresos netos actualizados y la inversión requerida para obtenerlos, pero este indicador solo es recomendado para analizar dos o más inversiones que tengan el mismo VAN (MINAZ, 2007).

Otro de los indicadores más importantes utilizados es la tasa interna de retorno o rendimiento (TIR) que representa la rentabilidad general del proyecto y es la tasa de actualización o de descuento a la cual el valor actual del flujo de ingresos en efectivo es igual al valor actual del flujo de egresos en efectivo. En otros términos se dice que la TIR corresponde a la tasa de interés que torna cero el VAN de un proyecto, anulándose la rentabilidad del mismo.

La TIR representa la rentabilidad general del proyecto y expresa por tanto la tasa de rendimiento de la Inversión a realizar.

El criterio de selección corresponderá a aquellos proyectos que tengan una mayor TIR, y ésta siempre debe ser mayor o igual a aquella que garantice un rendimiento mínimo para la inversión a realizar.

La TIR mide el número de años que transcurrirán desde la puesta en explotación de la inversión, para recuperar el capital invertido en el proyecto mediante las utilidades netas del mismo, considerando además la depreciación y los gastos financieros. En otros términos se dice que es el período que media entre el inicio de la explotación hasta que se obtiene el primer saldo positivo o período de tiempo de recuperación de una inversión.

El período de recuperación no considera la etapa referida a la construcción por lo que se deduce el tiempo que media entre el inicio de la construcción y el momento de la puesta en explotación. Tampoco considera para su cálculo la corriente de costo y

beneficio durante la vida productiva del proyecto después que se ha reembolsado el costo de inversión original.

La ventaja de este criterio radica en su simplicidad, pero su aplicación no sirve para comparar proyectos, dado que no considera el valor del dinero en el tiempo sino que compara directamente valores obtenidos en distintos momentos. Más que un criterio económico, este indicador es una medida de tiempo. No es aconsejable utilizarlo tampoco como criterio básico o de decisión fundamental para seleccionar proyectos. Otra desventaja es que no analiza lo que sucederá después de recuperada la inversión, es decir durante toda su vida útil. Es por ello que se utiliza sólo como complemento del análisis de rentabilidad de inversión y de indicadores básicos como el VAN y la TIR.

Otro indicador es la razón beneficio-costos que compara el valor actual de las entradas de efectivo futuras con el valor actual del desembolso original y de otros gastos en que se incurran en el período de operación, o sea, la relación por cociente entre los beneficios y costos actualizados a un cierto momento, de manera que en este método las salidas de efectivo se separan de las entradas, no como en el VAN y el TIR donde los gastos futuros se engloban con los ingresos del mismo período y sólo se incorpora al análisis el resultado neto, por lo tanto, este criterio sólo es apropiado utilizarlo para decidir si un proyecto se debe ejecutar o no, a partir de que la regla de decisión es que si la Razón Beneficio-Costo es igual o mayor que la unidad su ejecución es conveniente, ya que el valor presente neto del proyecto es positivo.

De los criterios de evaluación expuestos, todos tienen ventajas e inconvenientes, pero las desventajas del Período de Recuperación y de la Razón Beneficio-Costo no los hacen aconsejables para decidir la ejecución o rechazo de un proyecto.

La TIR es requerida por casi todos los organismos internacionales de crédito y puede aplicarse en presencia de escasez de capitales. Sin embargo, cabe recalcar que si el problema que se enfrenta es decidir entre proyectos mutuamente excluyentes, el criterio del VAN es el único que permite adoptar una decisión, sin inducir a error, respecto de cuál proyecto es más rentable y conveniente.

Se puede concluir que generalmente en criterios de evaluación y específicamente para los objetivos de este trabajo, conviene calcular para cada proyecto el VAN y la TIR, y el resto sólo como información adicional cuando se requiera (Ramos, 2014).

2.5 Indicadores de los cálculos de inversión

Unos de los problemas encontrados para la elaboración de la propuesta fue que en la bibliografía consultada no se encuentra el índice de magnitud para la fórmula de William del biogás con el cual se calculan los costos de inversión según la metodología planteada, por lo que se realizaron extrapolaciones con diferentes plantas, llegándose al resultado de 0,8 que es el que se utiliza en los cálculos del capítulo 3 (Esturo, 2005). En la Tabla 2.5 se detallan algunos de los índices asociados al sector agroindustrial azucarero planteados por (Ramos, 2014).

Tabla 2.5 Actualización de los costos mediante la fórmula de Williams para diferentes procesos (Dysert, 2003; Whitesides, 2007).

$$\text{Costo A} = \text{Costo B} (\text{Capacidad A} / \text{Capacidad B})^n$$

Tabla 2.5 Índice de magnitud para la fórmula de Williams. Fuentes: (Ramos, 2014).

Instalación	Índice (n)	Fuente
Fábricas de azúcar	0,42	(Mailiu Díaz, 2010)
Etanol	0,73	(Dysert, 2003)
Etanol lignocelulósico	0,75	(A. Y. C. Aden, 2002)
Torula	0,52	(Díaz, 2009)

- Actualización de los costos mediante los índices de costos de plantas de Ingeniería Química.

Costo presente = Costo inicial (Índice presente / Índice original) según (M.Peters, 2003), (Whitesides, 2007), (Dysert, 2003).

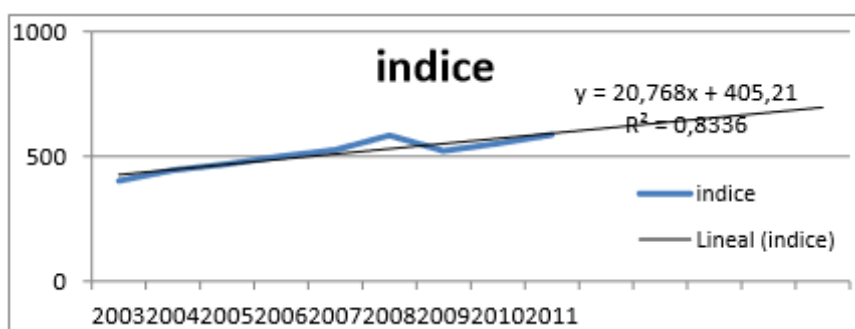


Figura 2.3 Extrapolación del índice de costo de planta de ingeniería química hasta el 2016. Fuente: (Ramos, 2014)

Cálculo de los costos fijos de una inversión a partir de los costos del equipamiento.

Tabla 2.6: Propuesta de (Peters et al., 2006) para el cálculo del capital fijo.

Elemento	Valor Promedio	Intervalo
COSTOS DIRECTOS	(CD)	
1. Equipamiento	(EQ)	
2. Instalación	$0,5 \times EQ$	0,2-0,5
3. Tuberías (instaladas)	$0,4 \times EQ$	0,3-0,6
4. Instrumentación (instaladas)	$0,35 \times EQ$	0,2-0,6
5. Aislamiento	$0,03 \times EQ$	0,01-0,05
6. Electricidad (instalada)	$0,15 \times EQ$	0,1-2,0
7. Edificaciones	$0,45 \times EQ$	0,1-2,0
8. Mejoramiento del terreno	$0,15 \times EQ$	0,05-0,2
9. Facilidades auxiliares	$0,50 \times EQ$	0,2-1,0
COSTOS INDIRECTOS	CI	
10. Ingeniería	$0,25 \times EQ$	0,2-0,3
11. Construcción	$0,35 \times EQ$	0,3-0,4
COSTO TOTAL (CT)	CD+CI	
12. Ganancia del contratista	$0,05 \times EQ$	0,03-0,08
13. Contingencias	$0,10 \times EQ$	0,07-0,15

2.6 Consideraciones ambientales y sociales

En la metodología que se propone se incorporan como variables influyentes en la toma de decisiones los indicadores económicos anteriormente señalados, y variables ambientales y sociales que la instalación propuesta afectará y hay que tomar en cuenta, aunque no tendrá el alcance de un estudio de impacto ambiental. Estas variables indicadas por el autor (Ramos, 2014) pueden ser consideradas como base para el estudio de cuáles en verdad son aplicables a la generación de biogás con cachaza:

Indicador ambiental:

- Uso del bagazo
- Uso de los residuos de la agricultura cañera (RAC)
- Reducción del consumo de agua
- Aprovechamiento del calor de los condensados
- Eficiencia energética de generadores de vapor
- Disminución de emisiones de humo e inquemados
- Aprovechamiento de la cachaza

- Tratamiento interno de corrientes líquidas y uso del fertirriego
- Reuso de la sosa caustica
- Contribución a la reducción de Gases de invernadero (GI)

Indicador Social:

- La aplicación de tecnologías de punta
- Generación de empleo
- Generación de empleos a sector femenino
- Construcción de viviendas
- Mejoramiento de la Calidad de vida
- Mejoramiento de la Infraestructura urbanística
- Generación de divisas o sustitución de importaciones
- Disminución de la emigración del territorio
- Desarrollo de un Centro Docente
- Producción de alimentos para la población

2.7 Introducción al caso de estudio

La investigación se realizó en la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez Guzmán”, que fue creada por Resolución 321/2011 del Ministro del Azúcar con domicilio legal en el batey del mismo nombre y está situada geográficamente en el municipio Palmira, provincia Cienfuegos. Limita al Norte con las oficinas de la UEB Atención al Productor Cañero, al sur con la bodega El Tulipán perteneciente a la Empresa Municipal de Comercio y el Combinado de Enseres Menores perteneciente a la Empresa Municipal de Servicios, al Este con la Casa del Trabajador Azucarero, y al Oeste con patios de vecinos detrás de la casa de bagazo y el Taller de Maquinado ambos pertenecientes a la propia UEB y dentro de su cercado perimetral. Se localiza por la carretera de Arriete, a 6 Kilómetros del poblado de Palmira y a 16 Kilómetros del municipio de Cienfuegos, y pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos del Grupo Empresarial “AZCUBA”. La misma posee una extensión geográfica de 10 468 m² de ellos 867 m² dedicadas a oficinas, 288 m² a laboratorio, y 9 313 m² a la industria.

Desde el 4 de Mayo de 2014 se da inicio a la Activación del central para su entrada en producción en la campaña 2014 – 2015, y sus objetivos de trabajo para ese año fueron la ejecución de la Inversión Activación del Central y la realización de las reparaciones a la tecnología en existencia, sin descuidar la limpieza de la industria y de sus áreas verdes, y la prestación de servicios a las unidades productoras de caña

en lo relativo al montaje de sistemas de riego, así como el completamiento de la fuerza laboral y su capacitación.

Este proceso de reactivación no se pudo llevar a cabo puesto que la UEB no contaba con los requerimientos necesarios para empezar la puesta en marcha. Dado esto se postergó para la etapa del 2015-2016 en la cual actualmente se encuentra operando a un 80% de su capacidad.

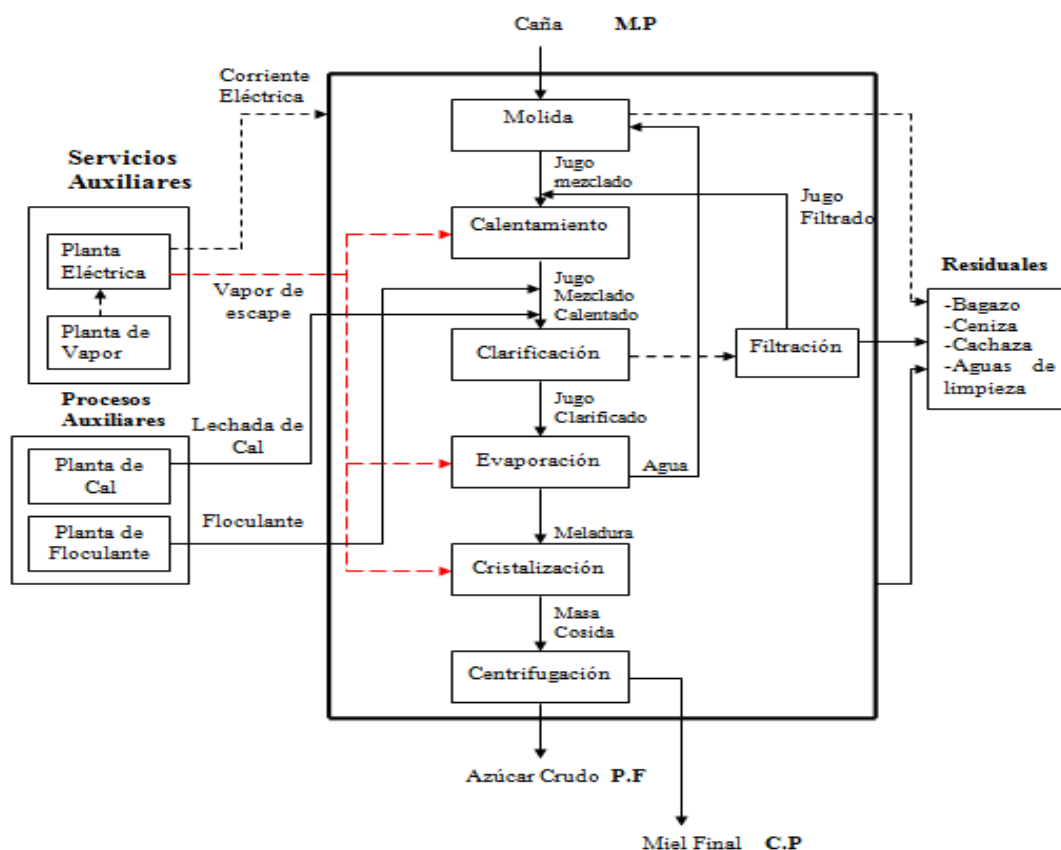


Figura 2.4: Diagrama de bloque del Central Azucarero "Elpidio Gómez".

2.8 Metodología de cálculo de una planta de biogás

Cuba está entre los países latinoamericanos de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales agropecuarios. El potencial de biogás en las condiciones actuales está en el orden de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, proveniente de unos 78 millones de m³ de vertimientos y biodegradables que constituyen hoy en día, en su conjunto, una de las principales fuentes de descontaminación.

➤ Materia prima evaluada para el desarrollo de la investigación

La cachaza residuo del proceso producción de azúcar fue evaluada como material orgánico, según los resultados de las mediciones realizadas permitió determinar el potencial de materia prima (cachaza) disponible en la Empresa para la producción del biogás.

La cachaza que se produce es transportada en camiones para un plato donde se almacena. La determinación de las potencialidades de la cachaza para la producción de biogás, está basada, en el programa de crecimiento cañero.

➤ **Dimensionamiento de los digestores**

Para el correcto dimensionamiento de un Biodigestor se requiere condicionar los siguientes factores:

- a) Cantidad de biomasa disponible.
- b) La producción específica de gas según la biomasa disponible.
- c) La consideración de estos factores nos permite dimensionar el volumen requerido del digestor y el volumen del almacenamiento del gas.

Nota: Con una producción de 78 t/d se podría generar un total de 7 800 m³/día de biogás. Ver tabla 2.7

Tabla 2.7: Producción de biogás/día, proporción excreta – agua y tiempo de retención según la fuente de biogás. Fuente (China, 2014).

Posibles Fuentes	Excreta Húmeda diaria kg/animal	m³/kg. Biogás/d	Proporción Excreta: Agua	Tiempo de Retención
Vaca	10	0,36	1;1	40

Toro	15	0,54	1;1	40
Cerdo(50 kg)	2,25	0,101	1;1-3	40
Pollo	0,18	0,008	1;1-8	30
Caballo	10	0,3	1;1-3	40
Carnero	2	0,1	1;1-3	40
Ternero	5	0,2	1;1	40
Persona adulta	0,4	0,025	1;1	60
Cachaza		0,1	1;3	30

Cálculos para el dimensionamiento de una instalación de biogás

Datos:

- Toneladas de cachaza del Central Caracas trabajando al 70% de la norma potencial:
- Toneladas de cachaza sólida = (78 t/d) = (78 000 kg/d)
- 30%Ton Cachaza sólida: 23 400 kg/d
- Proporción cachaza agua: 1: 3
- Tiempo de retención = 30 días

Volumen de digestión

$$V_d = \{(kg_{\text{cachaza}} + kg_{\text{Agua}}) * t_{\text{Retención}}\} / \rho_{\text{mezcla}}$$

Donde:

- V_d -Volumen de digestión (m^3)
- $t_{\text{Retención}}$ - Tiempo de retención (día)
- ρ_{mezcla} - Densidad de la mezcla (kg/m^3)

Cálculo del volumen de construcción del digestor

$$V_{cd} = V_d + 0,3 * V_d = 1,3 * V_d$$

Donde:

V_{cd} - Volumen de Construcción del Digestor (m^3)

Dimensionamiento del biodigestor

$$Vt = \left(\pi * \frac{D^2}{4} \right) * h$$

Cantidad de digestores que se necesitan

$$C_d = V_{cd} / V_T$$

Donde:

C_d - Cantidad de digestores

V_T – Volumen total del digestor (m^3)

Una tonelada de cachaza produce aproximadamente entre 100 m^3 y 120 m^3 de biogás aproximadamente. (Barreto-Torrella, Rodríguez, & Oquendo-Ferrer, 2006), (López-González, Romero, Cardoso, & Paneca, 2007), (Rosas-Naranjo, Luís Manuel García-Rojas, Ana, Delgado-Ramírez, & Placeres-Benítez, 2011).

CAPITULO 3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

En este capítulo se describe la aplicación de la metodología propuesta y validada en la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez” en Cienfuegos.

3.1 Selección de los expertos

Inicialmente se seleccionan los expertos cuya estructura y composición se detallan a continuación:

1. Gustavo Sardiñas Pérez. (Tecnólogo azucarero); Treinta años Maestro de Azúcar y directivo de la Industria Azucarera; Jefe de Industria de la Empresa Azucarera Cienfuegos.
2. Liliam González Cárdenas. (Dra. Ciencias Químicas), Profesora Titular de la Universidad de Cienfuegos; Experto en Estudios Sociales.
3. Nicolás González Suarez. (Dr. C., Ing. Q.), Ex Profesor. Adjunto de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Treinta años como directivo de Plantas Químicas; Experto en procesos inversionistas.
4. Eduardo López Bastida. (Dr.C., M. Sc. Lic. Q.), Profesor Titular de la Universidad de Cienfuegos.; 15 años especialista en la Termoeléctrica de Cienfuegos; Experto en Medio Ambiente y Producciones Más Limpias.
5. René Benavides. (M.SC, Ing. Q.); Profesor Asistente Universidad de Cienfuegos; Veinte años en la industria azucarera.
6. José Monteagudo. (Dr.C.) Profesor Titular de la Universidad de Cienfuegos.
7. Edwin García. (M.Sc., Ing. Industrial) Veinticinco años en la industria azucarera.
8. Roger Pérez (Ingeniero Químico); Diez años Maestro de Azúcar y Directivo en la industria azucarera; Actualmente Subdirector de la Empresa Azucarera Cienfuegos.
9. Francisco Puertas Fernández (Dr.C., M. Sc., Ing. T.), Profesor Titular de la Universidad de Cienfuegos; Diez años Jefe de Control Técnico en la Papelera Damují; Experto en la Integración de Procesos.

En la Figura 3.1 se muestra la composición de los expertos seleccionados, destacándose el alto por ciento de doctores especializados en las temáticas solicitadas. En el Anexo 1 se muestra la convocatoria para reunirlos.

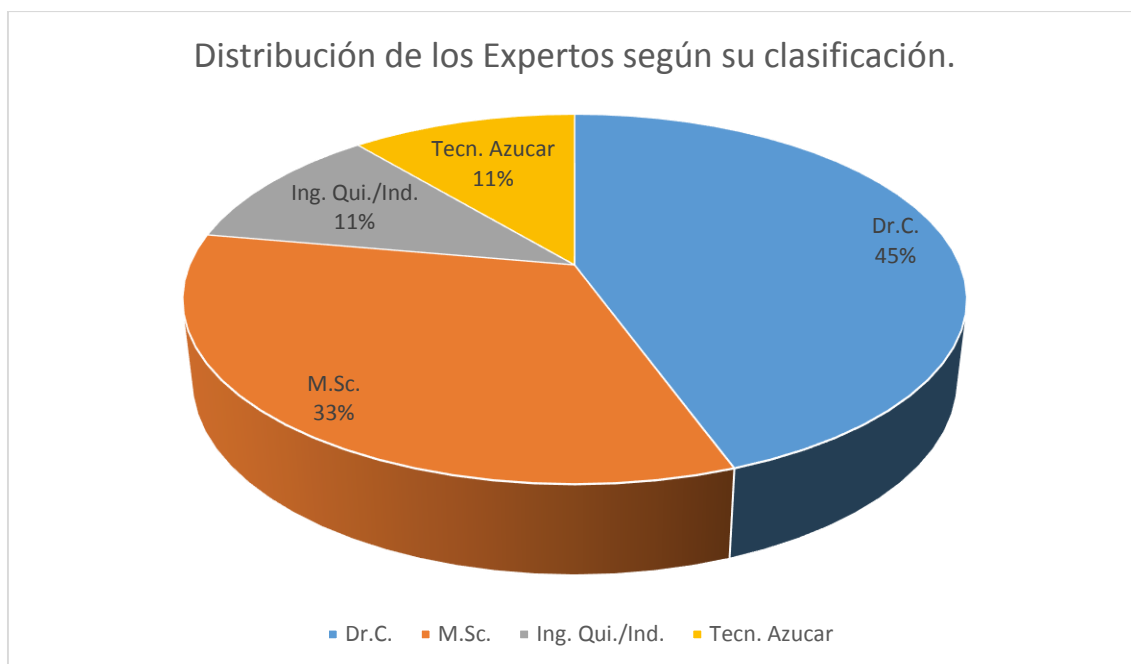


Figura 3.1 Composición de los expertos

Las consideraciones tomadas en cuenta para convocar a cada uno de los miembros del Comité de Expertos son los siguientes:

1. Tener los conocimientos necesarios sobre la industria azucarera, la experiencia industrial y la vinculación con procesos inversionistas del territorio donde se propone el proyecto.
2. El compromiso legal (en el caso de los especialistas de AZCUBA y del CITMA de Cienfuegos, territorio donde se propuso y aprobó el proyecto), y formal y académico en el caso de los demás pertenecientes a las Universidades de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez y a la Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
3. La seriedad, voluntariedad y disponibilidad de los convocados.

3.2 Aplicación del Método Delphi

A continuación se muestra toda la Metodología propuesta según el orden indicado en el diagrama heurístico (Figura 2.1).

Primera fase: Se realiza una discriminación de diez alternativas tecnológicas originalmente hasta obtener la más adecuada mediante la utilización del método Delphi. Las alternativas procesadas por los expertos en la primera ronda se muestran

en el Anexo 2 que fueron tomadas de la bibliografía consultada, de reuniones con especialistas involucrados de la Universidad de Cienfuegos, IPROYAZ, AZUCUBA, y de los propios expertos seleccionados en dicha ronda. En ella se observa que se han manejado conjuntamente las funciones tecnológicas, logísticas y energéticas. Los tres grupos están representados en el análisis final (F. E. Ramos, 2014).

Tabla 3.1 Matriz de la segunda ronda de expertos de la I Fase.

Alternativas	Expertos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9	10	10	6	4	9	9	9	10
2	8	9	9	10	10	10	8	8	9
3	10	7	8	9	6	8	10	10	8
4	6	8	6	8	8	7	7	6	7
5	7	6	7	5	9	6	6	7	6
6	1	3	4	3	1	1	1	2	1
7	3	5	3	7	6	2	3	3	5
8	2	4	1	2	4	4	2	1	4
9	4	1	5	1	5	5	5	4	3
10	5	2	1	4	2	3	4	5	2

Tabla 3.2 Resultados de la aplicación de Delphi según orden de importancia

Alternativas	Orden de importancia
6	-33
8	-26
10	-22
9	-17
7	-13
5	10
4	14
3	27
1	27
2	32

La alternativa seleccionada es la propuesta de un biodigestor de campana flotante alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas del central y el bagazo resultante se venderá a la papelera, el efluente líquido y el componente sólido se usará como fertilizante. El tiempo de zafra es de 130 días.

3.3 Ventajas de la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez" para la puesta en marcha del proyecto

La Fábricas de Azúcar "Elpidio Gómez" posee las condiciones favorables para la propuesta de la planta de biogás las cuales se exponen a continuación.

- La fábrica " Elpidio Gómez " tiene un promedio de área cañera de 6 565,13 ha, por lo que es capaz de producir 298 003 t de caña como promedio por zafra sus suelos son A1 en un 90 %, lo que indica la posibilidad de crecer no solo en extensión, también en rendimiento agrícola; esto resulta una mayor garantía de materia prima para las producciones asociadas a la propuesta.
- El Central "Elpidio Gómez" presenta un incremento de la capacidad industrial instalada, lo que tributaría una mejor producción, ventas, mejoramiento de los costos de inversión, y por supuesto el VAN y TIR.
- El asentamiento de la fábrica tiene en sus alrededores varios productores cañeros con estabilidad en su gestión en los últimos nueve años, además de ser necesario, se traerá caña desde otros lugares y cuenta con una línea central del ferrocarril, lo que desde el punto de vista logístico es muy beneficioso.
- La experiencia y la profesionalidad de los trabajadores en la realización de los procesos productivos de la industria.
- LA UEB cuenta con un laboratorio de control que se puede fortalecer con la adquisición de equipos modernos.
- El territorio periférico asociado a la instalación ha sido históricamente azucarero y existe un capital humano apto y profesional listo para asumir la tarea que se le encomiende.

Debido a las favorables condiciones, anteriormente planteadas, es totalmente factible la implementación de la propuesta de la planta de biogás en la Fábrica de Azúcar “Elpidio Gómez”.

3.4 Resumen del diagnóstico

3.4.1 Resumen del estudio de capacidades de la UEB

En la figura y tabla se muestra el resultado del estudio de capacidades de las principales áreas de la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez” en Cienfuegos.

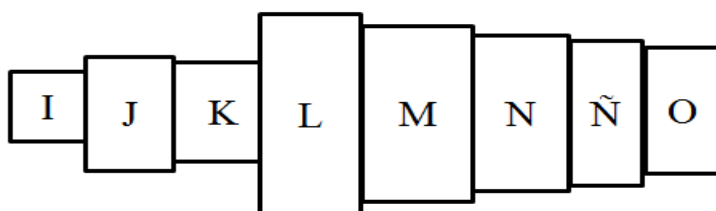


Figura 3.2 Diagrama de capacidades de las principales áreas productivas de la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez”

Tabla 3.3 Resumen del estudio de capacidades de la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez”

Etap	Descripción	Indicador fundamental	Norma (%)	Real	Cumplimiento %
I	Recepción, manipulación y preparación de la caña.	Índice de preparación (% de célula rotas).	52-55	40	76,9
J	Extracción de jugo o molienda.	Pérdidas en molienda.	3,83	3,60	93,9
K	Purificación.	Pérdidas en cachaza.	0,67	0,54	80,6
L	Evaporación o concentración del jugo.	Brix de la meladura.	63-65	64,55	102,5
M	Cristalización.	% de retención.	≥ 85	86,1	101,3
N	Centrifugación.	Polarización del azúcar.	98,30	98,85	100,6
Ñ	Generación y uso del vapor.	Presión del vapor directo.	1,8	1,8	100
O	Generación eléctrica.	kWh generados/ t de caña molida.	30	29	96,7

3.4.2 Resumen de la proyección cañera e industrial

La prospectiva de la UEB está basada en producir azúcar y derivados a costos competitivos para satisfacer las exigencias del mercado externo.

En la tabla 3.4 se muestra el estimado de crecimiento para los próximos cuatro años.

Tabla 3.4 Proyección cañera de "Elpidio Gómez"

Etapa 2016			Etapa 2017		
Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)	Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)
5792,9	41,3	239019	6404,6	43,3	277313
Etapa 2018			Etapa 2019		
Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)	Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)
6690,6	46,2	302588	6903,2	47,3	326827
Etapa 2020			Etapa 2021		
Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)	Area (ha)	Rto.(t/ha)	Prod(t)
7034,34	48,9	344268	7122,9	51,2	364678

Un análisis de estos resultados induce que, aunque las capacidades y estado técnico de la fábrica de azúcar son aceptables, con las tecnologías actuales no se logra un incremento necesario hasta la etapa 2020 - 2021, por lo que es necesario invertir en sistemas modernos de riego que aceleren el crecimiento cañero y la calidad de la misma mediante la aplicación de la ciencia, así como un mejor aprovechamiento de los fertilizantes usados.

3.4.3 Resumen del balance masa actual

En la Figura 3.3 se muestra un esquema de las áreas estudiadas en el balance de masa de la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez" en Cienfuegos, en la figura 3.4 el balance de materiales para el basculador y molinos, en la figura 3.5 el balance para evaporación y calentamiento, así como en la figura 3.6 el balance para cristalización.

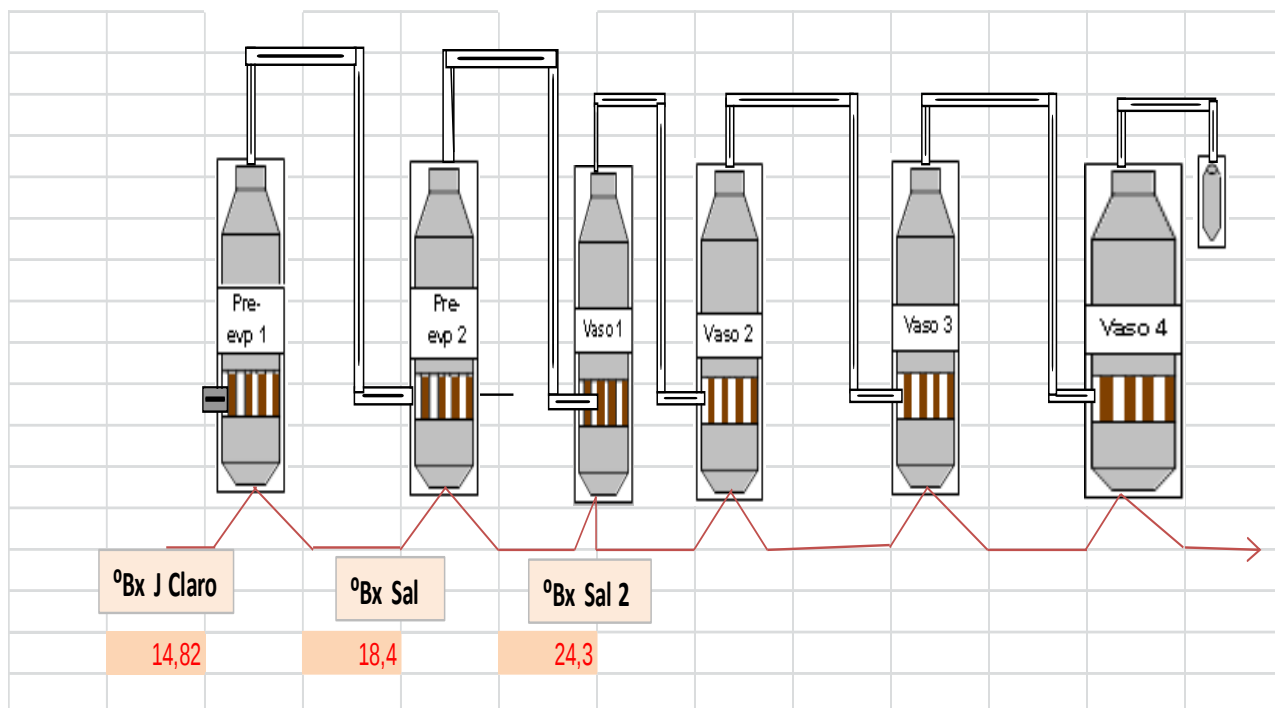


Figura 3.5 Balance de masa en el área de evaporación para 2 875 t/d, 80 % de aprovechamiento de la capacidad

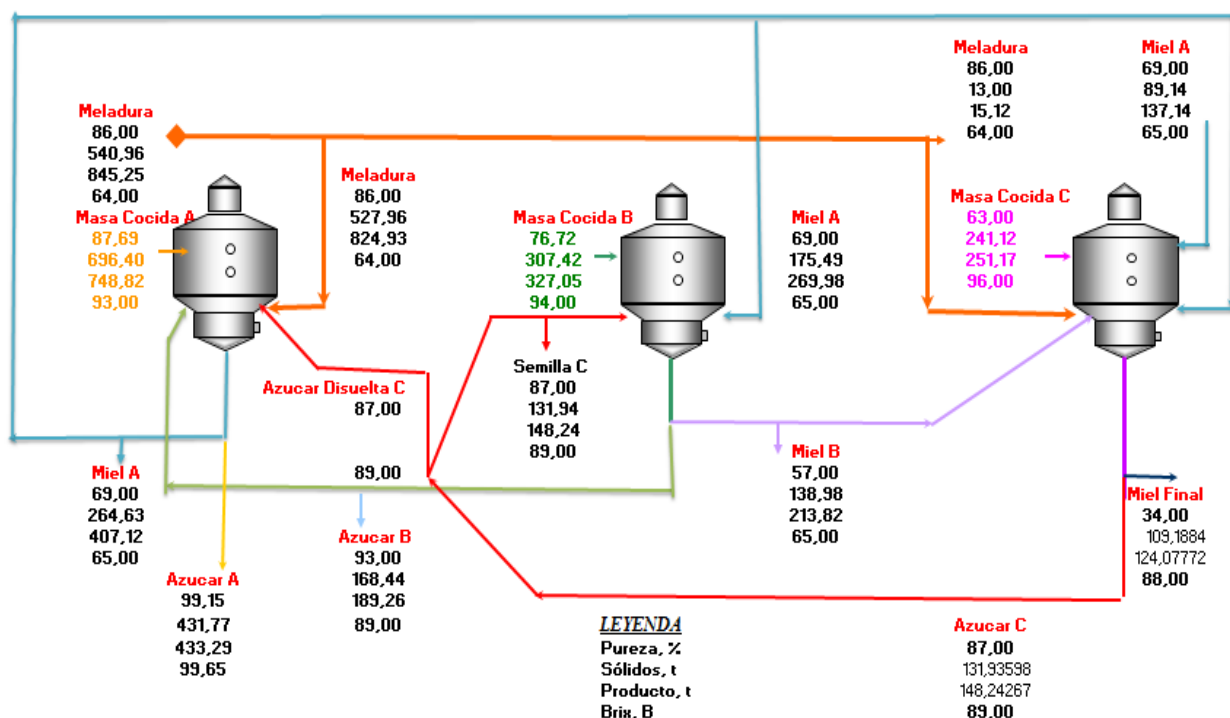


Figura 3.6 Balance de masa en el área de cristalización 2 875 t/d, 80 % de aprovechamiento de la capacidad

3.4.4 Resumen del balance de materiales de la UEB con la alternativa seleccionada

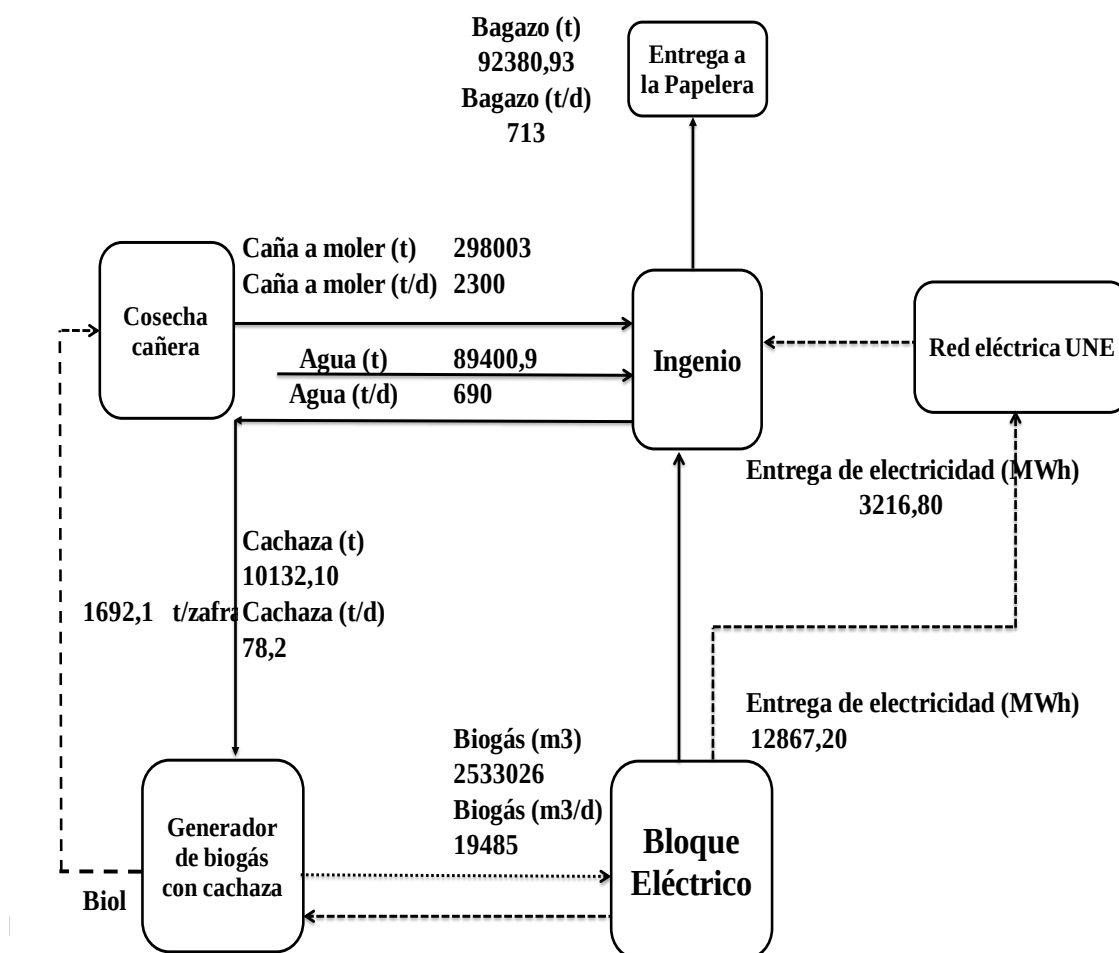


Figura 3.7 Flujo tecnológico de la alternativa seleccionada

Se destaca en el balance la disponibilidad de caña de 298 003 t de caña, suficiente para 130 días de zafra, lo que genera suficiente biomasa para la propuesta de la planta de biogás.

Se tomó una capacidad real de la UEB de 2 875 t/d, aunque es posible aumentarla con pocos recursos y obtener así una capacidad superior.

La electricidad generada se estima en un 16 936,50 kWh y la entrega de la misma es de 3 387,30 kWh.

3.5 Resultados obtenidos de la planta de biogás

Para la realización de los cálculos de los parámetros operacionales que se muestran en la Tabla 3.5 de la propuesta de la planta de biogás se tuvo en cuenta un tiempo de retención de 30 días para la biomasa a procesar.

Tabla 3.5 Resultados de los parámetros de la planta de biogás

Parámetros	Resultado
Volumen de digestión (m ³)	4 914
Volumen de construcción del Biodigestor (m ³)	6 389
Volumen total del Biodigestor (m ³)	1357
Diámetro (m)	12
Altura (m)	12

Fuente: Elaboración propia

3.6 Cálculo de los indicadores económicos

3.6.1 Costos de Inversión

Posteriormente se elaboraron los presupuestos de inversión de la alternativa seleccionada. Para ello fue usada información obtenida en la literatura internacional y validada por inversiones reales ejecutadas en Cuba. Se tomaron como base la metodología de Peters (Peters, 1991), otras informaciones fueron tomadas de (Polo, 2009), (IPROYAZ, 2008), (IPROYAZ, 2009), (CheEng, 2008), (Dysert, 2003), (A. Aden et al., 2002), y así, con la unión de las inversiones de cada tecnología poder conformar la inversión total de la planta de biogás propuesta.

3.6.2 Costos de producción

Para la elaboración de los costos totales de producción, también se usaron en algunas tecnologías la metodología propuesta por la hoja de cálculo del Peters (2006) y en otras las informaciones reales de instalaciones similares (IPROYAZ, 2007, 2008). Los datos bases y resultados de este indicador se muestran en las Tablas 3.6.

3.6.3 Resumen de la evaluación económica

El software utilizado Microsoft Excel, recomendado y validado en muchas evaluaciones nacionales del sector agroindustrial azucarero. Las informaciones básicas fueron obtenidas de las organizaciones de AZCUBA, y de reportes internacionales, fueron montadas en Excel y trabajadas con las herramientas propias de este software. En la Tabla 3.6 se muestra el resumen de los indicadores económicos para la alternativa seleccionada (VAN, TIR y RVAN), que son el valor

actual neto, el período de recuperación de la inversión y la tasa de retorno de la inversión.

Tabla 3.6: Cálculo de los indicadores económicos

Indicador	Resultado
VAN, millones de Pesos	12,6
TIR, %	47
Periodo de recuperación, años	3
Costo de inversión total, millones de P	6,5
Ventas por bagazo, millones de P	0,9
Ventas por fertilizantes, millones de P	3,6
Ventas por bono CER, millones de P	0,8
RVAN	1,93
Costo total/ingreso, P/P	0,57

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.10 se puede apreciar el comportamiento que tiene el VAN con el paso de los años como también se evidencia la recuperación del proyecto.

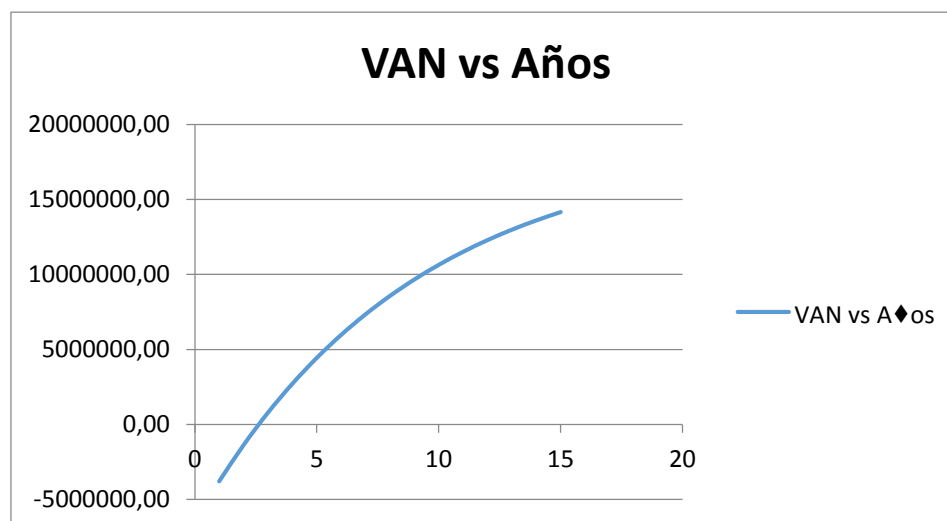


Figura 3.8 Comportamiento del VAN con el transcurso de los años

3.7 Impacto ambiental y social

Los indicadores sociales y ambientales resultantes del estudio son:

Indicadores ambientales:

- Uso de los residuos de la agricultura cañera
- Eficiencia energética de generadores de vapor
- Disminución de emisiones de humo e inquemados
- Tratamiento interno de corrientes líquidas y uso del fertirriego

- Reducción del consumo de agua
- Contribución a la reducción de Gases de invernadero (GI)

Indicador social:

- La aplicación de tecnologías de punta.
- Generación de empleo.
- Generación de empleos al sector femenino.
- Mejoramiento de la calidad de vida.
- Mejoramiento de la infraestructura urbanística.
- Generación de divisas o sustitución de importaciones.
- Desarrollo de un centro docente.

3.8 Análisis de los resultados

El análisis a nivel microeconómico que se ha descripto no dará respuesta a preguntas de orden macroeconómico surgentes de una aplicación a mayor escala, dado que intervienen en la misma prioridad que en la asignación de recursos provenientes de fondos públicos, efectos sobre la balanza de pagos, etc. Además mucho de los factores que determinarán el grado de aceptación de la nueva tecnología como facilidad de crédito y el servicio de asistencia técnica, formarán parte de una planificada política general. La localización y enfoque de la investigación requerirá también de una macrovisión de esta tecnología. A pesar que son previsibles cambios tecnológicos de importancia en biogás en los próximos años (particularmente reducción de los costos de inversión inicial y aumento de la confiabilidad) es posible y necesario definir y describir las zonas, regiones o sectores desde el punto de vista social, económico y físico donde esta tecnología pueda tener éxito (o donde sea mínima la posibilidad de fracaso).

El resultado de estos estudios y la prevalencia de las zonas donde sea factible la tecnología propuesta darán una señal más clara para determinar la importancia del biogás en el desarrollo energético del país y su ubicación dentro de las políticas energéticas y de fertilización. En base al marco de referencia dado por el análisis de costo-beneficio ambiental y social se puede asumir que el biogás será viable en aquellas situaciones donde: sus insumos tengan un bajo costo de oportunidad, la eficiencia del sistema sea la “adecuada” y los productos generados tengan un alto costo de oportunidad. A continuación se describirán cada una de estas características en detalle.

Insumos con bajo costo de oportunidad

Se darán en los lugares que presenten las siguientes características:

- La zona de producción donde se concentra la cachaza es intensiva, debido a la factibilidad de manipulación y transporte de la misma.
- No hay restricciones de tipo social al manejo de la cachaza y al aprovechamiento de los desechos.
- Exista una tradición, costumbre o metodología de la recolección de la cachaza.
- Se disponga de agua en forma, cantidad y calidad suficiente para alimentar los digestores.
- Se dispone de créditos o capital suficiente, con un bajo costo de oportunidad.
- Existe disponibilidad de mano de obra con capacidad y voluntad para la operación de los digestores.

La eficiencia del sistema es adecuada

Existe alta probabilidad de obtener rendimientos adecuados donde:

- Habrá una seguridad de suministro constante en tipo y calidad de sustrato fermentable.
- Se dispondrá de asistencia técnica para las etapas de diseño, puesta en marcha y mantenimiento del digestor.
- La temperatura ambiente es alta, adecuada para la reacción
- Se propone un adecuado diseño del digestor, lo cual permitirá un mejor manejo, un ahorro de tiempo de operación y un aumento en la confiabilidad.
- Se disponga de un adecuado servicio de mantenimiento.

Los productos generados tendrán un alto costo de oportunidad debido a:

- Existen limitaciones al libre acceso a los combustibles tradicionales.
- Existe una escasez en el medio convencional de obtención de energía.
- No hay suficiente disponibilidad de dinero para satisfacer la demanda de energía y fertilizantes.
- Los tipos de tratamiento de los desechos debe ser realizado a altos costos.
- El costo de manipulación de las materias primas y el efluente es bajo y competitivo.
- Las características del suelo son tales que se logran altas respuestas en el rendimiento de los cultivos ante aplicaciones de abonos.

CONCLUSIONES

1. Se concluyó mediante la revisión bibliográfica que la producción de biogás es factible y viable utilizando los componentes residuales de la industria azucarera, como es la cachaza pero,
2. Para las dimensiones tecnológicas propuestas, los indicadores económicos solo serán adecuados si se contemplan como beneficios las Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (CER), la venta de los residuos como fertilizantes y el bagazo dejado de quemar y vendido.
3. La UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez" presenta un buen estado tecnológico que permite proponer el proceso inversionista adecuado para la obtención de biogás.
4. El coeficiente de Williams obtenido tiene el valor de 0,8 (obtenido en la elaboración del trabajo) y utilizado en los cálculos de los costos de la inversión propuesta.
5. La proyección de una planta de biogás en la Fábrica de Azúcar "Elpidio Gómez" trae beneficios significativos en cuanto a la economía y el medio ambiente.
6. La instalación de esta planta también trae beneficios sociales como puede ser la instalación de un centro docente para la capacitación del personal de las instalaciones y del municipio.

RECOMENDACIONES

1. La investigación de esta tecnología debe enmarcarse dentro de un contexto de una política sobre desarrollo y energía en el medio industrial.
2. Que el desarrollo de la tecnología se haga dentro del ambiente socio-cultural-ambiental y económico que caracteriza el medio en el cual se realizará. No debe realizarse en forma aislada del contexto
3. Proponer un centro docente en las instalaciones de la Fábrica de Azúcar ``Elpidio Gómez``.
4. Que se aplique la metodología propuesta y validada en este trabajo, para la evaluación de alternativas de desarrollo de industrias de la caña de azúcar
5. Que se incluya el coeficiente Williams encontrado en la Asignatura de Diseño de Plantas para el cálculo del costo de equipos de biogás.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P. (2008). *Evolución de la caña de azúcar en Cuba en los siglos XIX y XX*,.
- Aden, A., Ruth, M., Ibsen, K., Jechura, J., Neeves, K., Sheehan, J., & Wallace, B. (2002). *Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover*. . In A. S. L.Montague, and J.Lukas Harris Group (Ed.). Seattle, Washington: NREL, U.S.Department of Energy Laboratory.
- Aden, A. Y. C. (2002). *Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover*. . In A. S. L.Montague, and J.Lukas Harris Group (Ed.). Seattle, Washington: NREL, U.S.Department of Energy Laboratory.
- Barrera, e. a. (2003). *Un enfoque fuzzy para la prospectiva Delphi*. Ingeniería & Desarrollo. .
- Barreto-Torrella, S., Rodríguez, D., & Oquendo-Ferrer, H. (2006). *Eficiencia Económica de dos Plantas de Biogás Alimentadas con Cachaza*. Centro Azúcar, 33(1).
- Bowker, A. H., & Lieberman, G. J. (1964). *Engineering Statistics*. La Habana: Instituto Cubano del Libro.
- Cuesta. (2008). *Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento*. Recuperado de www.madrimasd.org
- Cuesta, A. (2000). *La toma de decisiones consensuales: Instrumentos y experiencias en Gestión Organizacional*. Universidad de la Habana.: Facultad de Ingeniería Industrial.
- CheEng. (2008). *Economic indicator*. from WWW.CHE.COM.PCI
- Chinea, D. C. J. M. G. (2014). *Estudio de factibilidad de las mezclas de residuos orgánicos para la producción de biogás*. 17.
- Díaz, M. (2009). *Desarrollo de estudios técnicos para la evaluación de inversiones*. Paper presented at the *Curso de evaluación de inversiones*, CNCA., Sta. Clara, Cuba.

- Dysert, L. R. (2003). *Sharpen Your Cost Estimating Skills*. *Chemical Engineering journal*, 45(6).
- Esturo, C. (2005). *La llave del proceso y su calidad*. *Curso de Directores de Fabrica del MINAZ*.
- Francisco, W., Bastida E. , Castellanos J., Gil S. . (2006). *Metodología de la Investigación Científica*.
- Gálvez et al., L. (2002). *Manual de Derivados de la Caña de Azúcar*. Instituto de Información Científica y Tecnológica. ICIDCA.
- Gálvez, L. O. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azucar*. Ciudad Habana, Cuba.
- García, L. A. (2004). *Aplicación de Técnicas Difusas y Análisis Multicriterio a la evaluación del impacto ambiental*. In: *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. (Tesis Doctoral), Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona.
- Gmbh, G. (1999). *"Biogas Digest"*. *Biogas Basics*, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Gmbh Vol. 1. 46 p. GTZ-GATE. Eschborn, Germany, Recuperado de <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume1.pdf>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). *Metodología de la Investigación (2a Edición) (II ed.)*. Mexico D.F.: Mc Graw-Hill.
- IROYAZ. (2008). *Estudio Integral de Desarrollo de la Empresa Azucarera y Mielera "Perucho Figueredo"*.
- IROYAZ. (2009). *Estimado de costo de equipos*. Paper presented at the *Curso de evaluación de inversiones*, Sta. Clara, Cuba.
- Leidinger, I. R. (2010). *Teoría de las Restricciones*. EME.
- López-González, L. M., Romero, O. R., Cardoso, E. B., & Paneca, M. (2007). *La Producción de Biogás en la Empresa Melanio Hernández: una Alternativa Energética*. *Centro Azúcar*, 34(3)(83-86).
- Lorente, J. L. *Apuntes sobre el diseño de las encuestas*.
- Lorente, J. L. (2005). *Método Delphi - Método de Expertos*
CIGET-CITMA.
- M.Peters (Ed.). (2003). *Plant Design and Economic for Chemical Engineers*.

- Mailiu Díaz, E. L. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA Paper presented at the 6o. Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente, Cienfuegos, Cuba.*
- MINAZ. (2007). *La diversificación en la agroindustria azucarera restructurada. Información del Ministerio del Azúcar. La Habana: CNCA.*
- Nápoles, M., Rivera, A., Cruz-Aragoneses, M. d. L. d. I., Oquendo, H., González, E., & León, T. (2006). *Métodos usados en la Estimación de la Incertidumbre de las Mediciones para realizar Balances de Masa y Energía en Fábricas de Azúcar. Centro Azúcar 33(2): abril-junio., 2006, 33(2).*
- Pavlostathis, S. G., Giraldo-Gómez. (1991). *"Kinetics of anaerobic treatment: a critical review". Critical Reviews in environmental control.*
- Peters. (1991). *Plant Desing and Economics for Chemical Engineers J. M. M. B.J. Clark (Ed.)*
- Polo, G. (2009). *Desarrollo de estudios técnicos para la evaluación de inversiones. Paper presented at the Curso de evaluación de inversiones, Sta. Clara, Cuba.*
- Ramos. (2014). *Metodología de evaluación para la conversión de fábricas de azúcar a biorefinerías mediante lógica difusa. (Tesis Doctoral) Universidad "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara.*
- Metodología de evaluación para la conversión de fábricas de azúcar a biorefinerías mediante lógica difusa (2014).*
- Ramos Miranda, F. E. (2014). *Metodología de evaluación para la conversión de fábricas de azúcar a biorefinerías mediante lógica difusa. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" De Las Villas,*
- Rosas-Naranjo, J. L., Luís Manuel García-Rojas, J. R.-G., Ana, Delgado-Ramírez, I., & Placeres-Benítez, O. A. (2011). *Potencialidades del empleo de la cachaza en la Empresa Azucarera "30 de Noviembre" para la obtención de Biogás. Avances, 11.*
- Samper, M. B. (2007). *Biocombustibles: : Mito o realidad.*
- Sosa, R. (2014). *Biogás, para el beneficio del medio ambiente y la población. Periodico Granma. Ciudad de la Habana.*
- Whitesides, R. W. (2007). *Process Equipment Cost Estimating by Ratio and Proportion. Recuperado de www.PDHcenter.com*

Zérega, L. (2014). Manejo y uso Agronómico de la cachaza en Suelos Cañameleros. Venezuela.

ANEXOS

Anexo 1

Presentación y selección de expertos

Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez

Fecha:

Profesor:

Mediante la presente la hago la solicitud para que sirva como Experto en mi trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Químico titulado: Propuesta de una planta de biogás a partir de cachaza en la UEB Central Azucarero "Elpidio Gómez", en Cienfuegos.

En caso que acepte colaborar infórmemelo por favor por esta vía.

Le adjunto en el documento la información primaria que pueda necesitar referente al trabajo, si usted requiere alguna información adicional, solicítemela.

Le agradezco su atención.

Atentamente: Marcos A. Cuellar González

Estudiante de 5^{to} año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

Adjuntos:

Arboleda, T. (2009). Vigilancia tecnológica y competitividad sectorial. *Pesquisa*, 8.

Chirino-Méndez, R. (2012). Superestructura para el Diseño Óptimo de las Operaciones

DÍAZ, M. 2009. Desarrollo de estudios técnicos para la evaluación de inversiones. Curso de evaluación de inversiones, CNCA. Sta. Clara, Cuba.

DYSERT, L. R. 2003. Sharpen your cost estimating skills. *Cost Engineering* Vol. 45/No. 6 June 2003.

Barreto-Torrella, S., Rodríguez, D., & Oquendo-Ferrer, H. (2006). EFICIENCIA ECONÓMICA DE DOS PLANTAS DE BIOGÁS ALIMENTADAS CON CACHAZA. *Centro Azúcar*, 33(1).

López-González, L. M., Romero, O. R., Cardoso, E. B., & Paneca, M. (2007). LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA EMPRESA MELANIO HERNÁNDEZ: UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA. *Centro Azúcar*, 34(3)(83-86).

Rosas-Naranjo, J. L., Luís Manuel García-Rojas, J. R.-G., Ana, Delgado-Ramírez, I., & Placeres-Benítez, O. A. (2011). POTENCIALIDADES DEL EMPLEO DE LA CACHAZA

EN LA EMPRESA AZUCARERA “30 DE NOVIEMBRE” PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS. Avances, 11.

MINAZ 2008. Las inversiones en la agroindustria azucarera. Curso para Directores del MINAZ. CNCA, Ciudad Habana.

PETERS, M., et al. 2006. Plant design and economics for chemical engineering, Mc. Graw-Hill, Inc.

WHITESIDES, R. W. 2007. Process equipment cost estimating by ratio and proportion [Online]. Available: www.PDHcenter.com .

Anexo 2

Encuesta de la I ronda para seleccionar las mejores alternativas

Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez

Fecha:

Estimado profesor:

A continuación le envío trece alternativas de instalación de una planta de biogás, escogidas para efectuar la I ronda para la selección de alternativas tecnológicas.

Usted debe seleccionar las diez que considere más beneficiosas. Tome en consideración los puntos de vista tanto económico como ecológico y social. Puede incluir si así lo considera algunas adicionales, pero, respetando el límite que deben de diez en total.

Lo saluda cordialmente:

Marcos A. Cuellar González

Estudiante de 5^{to} año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

Alternativas Tecnológicas:

- Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas del ingenio, que suministra biogás al comedor obrero, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
- Biodigestor de cúpula fija alimentado con vinazas del ingenio, que suministra biogás a las calderas del ingenio, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
- Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas del ingenio, que suministra biogás al comedor obrero; la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
- Biodigestor con un gasómetro alimentado con vinazas del ingenio, que suministra biogás a las calderas del ingenio, la cachaza y el bagazo resultante es destinado para el compost y la Papelera "Damují" respectivamente.
- Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".

- Biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas del ingenio, el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují", el efluente líquido y el componente sólido es usado como fertilizante.
- Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás a las calderas del ingenio, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".
- Biodigestor con un gasómetro alimentado con cachaza que suministra biogás al comedor obrero, las vinazas son utilizadas para el riego y el bagazo resultante ve para la Papelera "Damují".
- Un biodigestor de cúpula fija alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas del ingenio.
- Un biodigestor con un gasómetro instalado alimentado con cachaza y vinazas que le suministra biogás al comedor obrero y a las calderas del ingenio.

Anexo 3

Encuesta de la II ronda para seleccionar las mejores alternativas

Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez

Fecha:

Estimado profesor:

En la presente le envío la encuesta correspondiente a la 2^{da} ronda para la selección de las mejores Alternativas Tecnológicas y el resultado de la 1^{ra} a la cual usted debe asignar un número del uno al diez en escala de importancia significativa donde el uno corresponde al más importante.

Alternativa	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Lo saluda cordialmente:

Marcos A. Cuellar González

Estudiante de 5to año de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.

Anexo 4

Tabla 4.1 Balance de masa de la UEB Central Azucarero “Elpidio Gómez”

Datos para BM		Base de cálculo: 1 día	
Caña molida t/d	2292,33	Balance total en los molinos	
Bagazo % caña	31	Caña+H ₂ O=Bagazo+Jugo de molinos	
% de extracción molinos	96	Cálculo de la cantidad de bagazo	
Cachaza t/d	77,93	Masa de bagazo (t/d)	710,6223
Hum del bagazo (%)	50,11	Masa de bagazo (kg/h)	29609,2625
Brix Jugo mezclado	14,41	Calculo de la cantidad de Jugo en molinos	
Brix Jugo clarificado	14,82	Masa de jugo en molinos (t/d)	2200,6368
Brix meladura	64,28	Masa de jugo en molinos (kg/h)	91693,2
Brix salida del 1 Pre-ev	18,4	Cálculo de el agua de imbibición	
Brix salida del 2 Pre-ev	24,3	Agua de imbibición (t/d)	618,9291
Floculante (kg/d)	11,46165	Calculo de la cantidad de jugo de filtros	
Datos para BE		Jugo de filtros (t/d)	330,09552
Pre- evaporador		Calculo de Jugo mezclado	
P (cal) Mpa	0,1	Jugo Mezclado (t/d)	2530,73232
λ(cal) Kcal/kg	639	Jugo Mezclado (kg/h)	105447,18
P(cuerpo) Mpa	0,06	Determinando la masa de lechada de cal	
λ (cuerpo) kcal/kg	633,77	4°Be → p(CaO)=1.029 Kg/L	1,029
Teb °C	103	36g CaO/L de lechada	
Talim °C	104	500g CaO/t de caña	
Cuádruple efecto (Primer vaso)		Kg de (CaO)	1146,165
P (cal) Mpa	0,06	Volumen de lechada de cal (L)	31837,9167
λ(cal) Kcal/kg	633,77	p(lechada)=m (lechada)/ V (lechada)	
P(cuerpo) Mpa	0,01	m (lechada) kg	32761,2163
λ (cuerpo) kcal/kg	617,34	m (lechada) t	32,7612163
n	4	Calculo de la cantidad de jugo alcalizado	
Tb (1er vaso) °C	105	m (Jugo alcalizado) t/d	2563,49354
T alim °C	103	m (Jugo a calentadores 2,3,4) kg/h	106812,231
Tachos		Balance total en el clarificador	

**Tabla 4.2 Balance de masa de la UEB Central Azucarero
"Elpidio Gómez"**

Tacho # 1 (Masa A)		m (jugo que entra al clarificador) t/d	2563,505
V inic (m³)	13,23	Balance total en el filtro	
V final (m³)	35,23	Lodo (t/d)	408,02552
Bx1 (semilla B)	90,06	Cálculo de la masa de jugo clarificado	
Bx2 (meladura)	64,28	m (Jugo claro) t/d	2155,47948
Bx3 (masa A)	92,6	m (Jugo claro) kg/h	89811,6449
ϕ (volumen específico) kg/m³	1450	m(jugo al calentador 1)	89811,6449
t cocción (h)	1,6	Balance Parcial en el 1 Pre-Evaporador	
Tacho # 2 (Masa A)		Jugo a la salida (kg/h)	72337,4227
V inic (m³)	13,23	Balance Parcial en el 2 Pre-Evaporador	
V final (m³)	35,23	Jugo a la salida (kg/h)	54774,0155
Bx1 (semilla B)	90,6	Balance Total en los Pre-Evaporadores	
Bx2 (meladura)	64,28	Vapor Producido = Ext (kg/h)	35037,6294
Bx3 (masa A)	93,8	Calculo del consumo de vapor en el Pre	
t cocción (h)	1,6	Cp (jc)	0,917008
Tacho # 3 (Masa A)		G (pre-evap) kg/h	
V inic (m³)	13,23		36353,071
V final (m³)	35,23	Calculo del consumo de vapor en el 1er vaso	
Bx1 (semilla B)	90,06	Cp (j entrada)	0,86392
Bx2 (meladura)	64,28	Evaporación total (Vt)	34067,5971
Bx3 (masa A)	93,08	G=S (1er vaso) kg/h	8783,25239
t cocción (h)	1,6	Economía	3,87869955

Tabla 4.3 Continuación del balance de masa de la fábrica

Tacho # 4 (Ampliado)		Cálculo de consumo de vapor de los Tachos			
V inic (m³)	10,03	Tacho # 1			
V final (m³)	30,73	P (inic) kg			19183,5
Bx1 (ampliado)	90,5	W (inic) kg			526,199676
Bx2 (miel B)	66,2	P (final) kg			51083,5
Bx3 (masa ampliado)	92,5	P (mat) kg			45196,2338
t cocción (h)	2	W (mat) kg			13822,4335
Tacho # 5 (Masa C)		G (tacho1) kg/h			9864,68531
V inic (m³)	12,06	Tacho # 2			
V final (m³)	36,22	P (inic) kg			19183,5
Bx1 (masa ampliada)	92,5	W (inic) kg			654,447761
Bx2 (miel B)	66,2	P (final) kg			51083,5
Bx3 (masa C)	95,8	P (mat) kg			45594,7853
t cocción (h)	1,6	W (mat) kg			14349,2331
Tacho # 6 (Masa B)		G (tacho2) kg/h			11252,7606
V inic (m³)	12,83	Tacho # 3			
V final (m³)	36,25	P (inic) kg			19183,5
Bx1 (SEMILLA C)	88	W (inic) kg			622,412656
Bx2 (miel A)	68	P (final) kg			51083,5
Bx3 (masa B)	94	P (mat) kg			45291,1921
t cocción (h)	5	W (mat) kg			14013,6048
Coeficiente de (ζ)		G (tacho3) kg/h			10062,262
masa cocida A	1,1	Tacho # 4			
masa cocida B	1,2	P (inic) kg			14543,5
masa cocida C	1,3	W (inic) kg			314,454054
Calentadores		P (final) kg			44558,5
Calentador # 1 (J Clarificado)		P (mat) kg			41500,0076
Masa de J Clarificado Kg/h	89811,6449	W (mat) kg			11799,4616
Cp (jc)	0,917008	G (tacho4) kg/h			7874,04518
T (inic) °C	35	Tacho # 5			
T (final) °C	45	P (inic) kg			17487
P (vapor) Mpa	0,1	W (inic) kg			602,370564
λ (vapor) kca/kg	639	P (final) kg			52519
Coeficiente de pérdidas	1,05	P (mat) kg			49824,1465
Calentador # 2 (J Alcalizado) L-L		W (mat) kg			15394,5171
Masa de J Alcalizado Kg/h	106812,231	G (tacho5) kg/h			10997,8603
Cp (ja)	0,919304	Tacho # 6			
T (inic) °C	45	P (inic) kg			18603,5
T (final) °C	56	W (inic) kg			1187,45745
T (agua condensada) °C	98	P (final) kg			52562,5
λ (agua sat) kca/kg	98,07	P (mat) kg			45301,8382
Calentador # 3 (J Alcalizado)		W (mat) kg			12530,2957
Masa de J Alcalizado Kg/h	106812,231	G (tacho6) kg/h			3566,61581
Cp (ja)	0,919304	G (total de tachos) kg/h			53618,2292
T (inic) °C	56	Cálculo de consumo de vapor en calentadores			
T (final) °C	75	G (Cal 1) kg/h			1353,30042
P (vapor) Mpa	0,06	G (Cal 2) (Agua condensada) kg/h			11013,7863
λ (vapor) kcal/kg	633,77	G (Cal 3) kg/h			3090,94557
Calentador # 4 (J Alcalizado)		G (Cal 4) kg/h			4356,44605
Masa de J Alcalizado Kg/h	106812,231	G (total de calentadores) kg/h			8800,69203
Cp (ja)	0,919304	Cálculo de consumo de vapor en los turbos			
T (inic) °C	75	G (Turbogenerador 1) kg/h			33771,5722
T (final) °C	102	G (Turbogenerador 2) kg/h			34130,8442
P (vapor) Mpa	0,1	G (Total de Turbogeneradores) =G(mp) kg/h			67902,4164
λ (vapor) kcal/kg	639	Consumo de vapor de necesidades tecnológicas			
Turbogeneradores		G (NT) kg/h			42062,8175

Tabla 4.4 Continuación del balance de masa de la fábrica

Turbogenerador # 1			Consumo de vapor por válvula reductora	
N (producida) kw-h	3000	G (VR) kg/h		30454,7978
N (termodinámica)	0,69792945	%G (VR)		26,2344961
Ho	130,4	Vapor generado en la caldera		
N (mec)	0,94	G (Caldera) kg/h		116086,841
N (eléct)	0,95	VCN (Valor Calórico Neto) kcal/kg		1819,665
N (tubo)	0,94	Qp (calor sensible en los gases) kcal/kg bag		342,19906
Pve (Mpa)	1,72	Qrecup kcal/kg bag		1265,08169
Tve (°C)	340	Qn (Calor necesario para obtener 1 kg de vapor)		634,36
λe kcal/kg	745,4	IG (índice de generación) kgv/kg bag		1,9942646
Pvs (Mpa)	0,12	VCS (Valor calórico superior) kcal/kg		2294,94
Tvs (°C)	130	ηcal (Eficiencia total de las calderas) %		55,1248263
λs kcal/kg	654,39	Vpsm (vapor producido según la molid) kgv/		59048,7039
λ (ciclo adiabático ideal) kcal/kg	615	Vpsm (vapor producido según la molid) t/h		59,0487039
Turbogenerador # 2		Bq (bagazo quemado) kg/h		58210,3504
N (producida) kw-h	3000	Bq (bagazo quemado) t/h		58,2103504
N (eléct) kw-h	0,94	Bs (bagazo sobrante) kg/h		-28601,0879
Caldera		ηcal (Eficiencia en las calderas) %		69,5227797
G (trabajo) kg/h	110000	Balance de condensado		
G (otros) kg/h	8126,07885	Ga (tec) kg/h		64950,8017
Coeficiente de pérdidas	1,1	Ga (reposición) kg/h		51136,039
T (gases) °C	230	% H2O (reposición)		44,0498154
m (relación de aire empleado)	1,5	Balance de calor		
P (caldera) Mpa	1,93	Q (caldera) kj/h		364329876
Tv (caldera) °C	350	Q (caldera) kj/s = Kw		101202,743
λv (sobrec) kcal/kg	749,6	Q NT kj/h		94973854,4
T (H2O alimentada) °C	115	Q NT kj/s = Kw		26381,6262
λ (agua sat) kcal/kg	115,24	Q (Pot) kj/h		29696491,7
Coeficiente de pérdidas (α)	0,99	Q (Pot) kj/s = Kw		8249,02547
Coeficiente de pérdidas (β)	0,93	Q (otros) kj/h		21806332,6
Coeficiente de pérdidas (γ)	0,93	Q (otros) kj/s = Kw		6057,31461
Balance de calor		Q (cond) kj/h		26669448,7
Q (caldera)		Q (cond) kj/s = Kw		7408,18019
λv (sobrec) kj/kg	3138,42528	Q (Pérd) kj/s = Kw		53106,5968

Tabla 4.5 Continuación del balance de masa de la fábrica

Q NT			Pérdidas en %		
Pv (escape) Mpa		0,1	% Pérdidas generales		52,4754518
λ_v (escape) kj/kg		2675,3652	% Pérdidas en proceso		26,068094
λ H ₂ O (sat) kj/kg		417,46	% Pérdidas de potencia		8,15098999
Q (Pot)			% Pérdidas de otros		5,9853265
λ_e kj/kg		3120,84072	% Pérdidas en condensados		7,32013773
λ_s kj/kg		2683,5	Eficiencia térmica general %		
Q (otros)					47,5245482
Pv (otros) Mpa		0,12			
λ_v (otros) kj/kg		2683,5			
Q (cond)					
T H ₂ O (cond) °C		98			
λ H ₂ O (sat) kj/kg		410,61			

Tabla 4.6 Balance de masa en casa de calderas

Datos	Brix	Pureza
Meladura	64	86
Miel A	65	69
Miel B	65	57
Semilla B	89	93
Semilla C	89	87
Mezcla Crist.		80
Miel Final	88	34
Azúcar A	99,65	99,15
Masa Cocida A	93	87,693132
Masa Cocida B	94	76,724988
Masa cocida C	96	63
Norma Potencial @		256353,33
Extraccion Jugo Mezclado %		98
Brix Jugo Mzclado		16,24
Solidos Jugo Mezclado Tons.		469,19017

Tabla 4.7 Comprobación de datos para balance de masa de calderas

Comprobacion de los Calculos			
Peso de solidos en Azúcar A % solidos en Meladura	79,82	Peso de solidos en azucar B % solidos en	31,14
Peso de solidos en Miel Final % solidos Meladura	20,18	Peso de solidos en miel A a la masa cocida B	32,44
Solidos en McC producción		Peso de pol productos alimentados debe ser igual al peso de pol	
Solidos en McC	44,57		
Solidos en Azucar C	24,39	eso pol productos que sale	43,60
Solidos en Mat. Crist. Para 4 pie templas % sol. Mel.	3,71	Pureza Comprobacion	76,72
		eso pol productos que sale	43,60
Solidos en meladura y miel A para la Cristalizacion		Pureza de comprobacion	76,72
Solidos en Meladura	2,40	Peso de solidos en miel A que deben producirse	48,92
Solidos en Miel A	1,31		
Miel A y B % solidos en Meladura Para la masa cocida C Mezcla		Peso de solidos en masa cocida A % solidos en	128,73
Pol en masa cocida C	28,08	Peso solidos en meladura alimentados a la masa	97,60
Pol Mezcla de Cristalizar	2,97		
Puieza de la Mezcla Ay B	61,45	Total solidos en meladura comprobacion	100,00
Solidos en Miel A a la masa C	15,17	alculo pureza masa cocida	87,69
Solidos en Miel B a la masa C	25,69		
Solidos en la masa cocida B	56,83		

Anexo 5

Tabla 5.1 Balance de materiales para la UEB con la alternativa seleccionada

DATOS	Valor	Dimensiones
Caña a moler	298003	t
Capacidad nominal	2875	
% de disponibilidad	80	
Capacidad operacional	2300	t/d
días de operación	130	días
Bagazo	92380,93	t
Jugo Mezclado	286082,88	t
Cachaza	10132,10	t
Agua (Ver nota 1)	89400,9	t
Jugo de los molinos 1 y 2	190245,115	t
Jugo de los molinos 3 y 4	81533,6208	t
Jugo de los filtros	40766,8104	t
Jugo mixto clarificado (Ver nota 2)	103955,367	t
Jugo para producir azúcar	182127,513	t
Toneladas de azúcar producida	21023,61	t
Miel final	5045,67	t
Bagazo para producir electricidad	87730,93	t
Generación de electricidad	16084,00	MWh
Miel para la planta de MUB	1550	t
Bagazo para MUB (Ver nota 3)	4650	t
Torula seca	1240	t
Entrega de electricidad	3216,80	MWh
Capacidad teórica del ingenio	2875	t/día
Rendimiento del ingenio	80%	-
Capacidad real del ingenio	2300	t/día
Miel del ingenio a la destilería	3495,67	t
Miel a comprar para la destilería	13000	t
Miel total para producir alcohol	16495,67	t
Jugo mixto	103955,367	t
Azúcares reductores totales (ART) en jarabes	24758089,2	kg
Azúcares reductores totales (ART) en jugo mixto	548884,34	kg
Azúcares reductores totales (ART) en mieles	7291084,30	kg
Eficiencia de la fermentación	80%	-
Alcohol Puro (AP)	1367,02	hL/día
Alcohol de mal gusto (AMG)	146,99	hL/día
Biodiesel	77,22	hL/día
Dióxido de carbono (CO ₂)	460,82	t/día
Alcoholes Superiores (AS)	5,47	hL/día
Ésteres	1,10	hL/día
Vinaza para vino	95,69	t/día
Crema de levadura <i>Sacharomices</i>	4,78	t/día
Índice de consumo de vinaza	5,40	-
Índice de consumo de miel	1	-
producción de biogas por cachaza	1215852,24	m ³

