



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
INGENIERÍA

Universidad de Cienfuegos

“Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ingeniería

Departamento de Química

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Químico



Evaluación del sistema de gestión energética ajustado a las nuevas condiciones operacionales en la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero “Ciudad Caracas”

Autor: Orlando Javier Torres Brito

Tutora: Ing. Eliané Arias Molina

2023

“Año 65 de la Revolución”

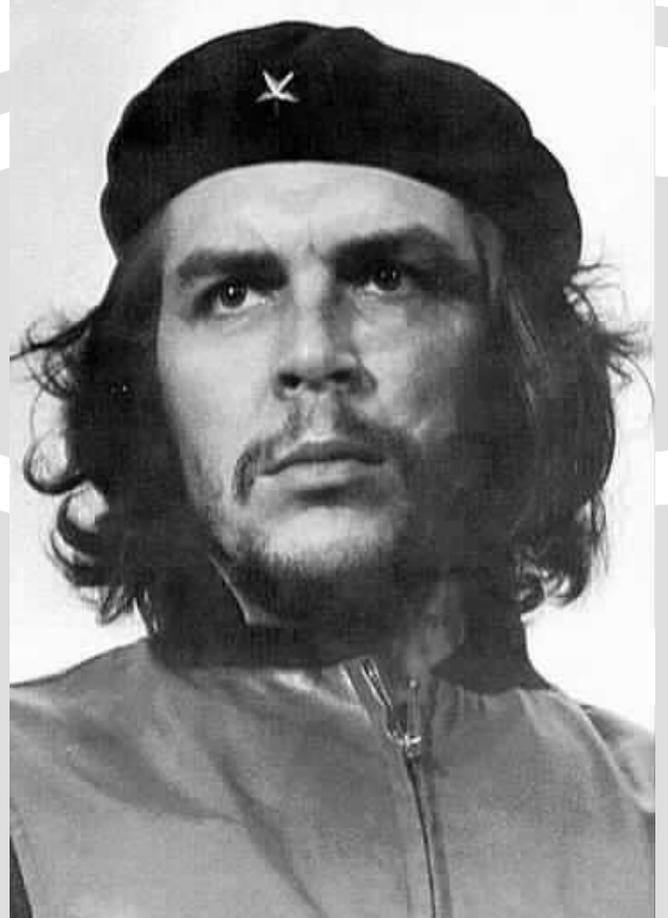
A stylized, 3D-rendered pencil is shown diagonally, pointing towards the top right. The pencil is white with a grey eraser at the bottom left and a grey lead tip at the top right. The word "Pensamiento" is written in a black, serif font on the side of the pencil. The background is a light grey gradient.

Pensamiento



“La magnitud de lo que logramos, no depende de lo que tengamos para hacerlo, sino de la intención y de lo que sepamos hacer con lo que tenemos”.

Ernesto Che Guevara



A 3D rendering of a white pen, viewed from a low angle. The pen is oriented diagonally from the bottom-left towards the top-right. The word "Dedicatoria" is written on the barrel of the pen in a black, serif font. The pen has a white body and a dark grey or black grip section at the bottom-left. The background is a plain, light grey gradient.

Dedicatoria



Dedico esta tesis a quien es símbolo de amor, ternura e incondicionalidad, a esa antorcha que ilumina mi camino por su desvelo constante para que crezca profesionalmente, para mi **Madre** mi dedicatoria primera.

Valerosos los que un día soñaron con la **REVOLUCIÓN**, con esa obra incalculable, pero que no pudieron verla realizada, para los **MÁRTIRES DE LA PATRIA**, va la dedicatoria más sincera.

Indiscutible es el lugar que ocupa alguien especial para mí el cual es el motor Impulsor de mi vida: mi **HIJO**.

Lo que me impulsa a realizar esta dedicatoria a esa obra grande que ha permitido que seamos hoy lo que soñamos: **LA REVOLUCIÓN**.

Materializado en las figuras de quien surgí y a quienes le debo lo que soy, esta especial dedicatoria: a mi **MADRE**, mi **PADRE** y mi **PADRASTRO**.

A los que con su desvelo constante y su cotidiana labor nos llenaron el corazón de sensibilidad sin par y dieron día a día el pan de la enseñanza, a ellos, los **MAESTROS Y PROFESORES**, tienen también hoy un lugar en el recuerdo y en esta dedicatoria.

A 3D rendering of a white pen, viewed from a low angle. The pen is oriented diagonally from the bottom left towards the top right. The word "Agradecimientos" is written on the barrel of the pen in a black, elegant serif font. The pen has a white body and a dark grey or black cap. The background is a plain, light grey gradient.

Agradecimientos



Llegó el momento de agradecer a todos los que de una forma u otra me ayudaron a la realización de esta investigación.

A mi tutora Ing. Eliané Arias Molina por toda su ayuda, brindarme sus conocimientos y todo el tiempo que dedicó a enseñarme y conducirme en mi vida profesional.

A mis asesores, los compañeros de la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero “Ciudad Caracas”, ubicada en el municipio de Lajas por toda la ayuda y apoyo que me brindaron incondicionalmente y por confiar en mis esfuerzos para crecer profesionalmente.

A los profesores que me ayudaron en mi formación durante estos años de estudio.

A mis compañeros de aula especialmente a Edelvys y Adrian David.

Para aquellos que aportaron su granito de arena por su sapiencia.

A todos Muchas Gracias

A stylized graphic of a pen nib pointing towards the top right. The nib is white with a grey shadow on the right side, giving it a three-dimensional appearance. The word "Resumen" is written on the nib in a black, italicized serif font.

Resumen



RESUMEN

La investigación se realizó en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Central Azucarero “Ciudad Caracas” que está situada en la provincia de Cienfuegos, en el municipio de Lajas, la cual tiene potencial para mejorar los rendimientos agroindustriales y aportar un mayor valor a sus coproductos, con el aprovechamiento de la biomasa y el aumento en los índices de generación de energía eléctrica. En esta se encuentra un análisis de la zafra 2022-2023 así como la descripción detallada del proceso con sus características técnicas y los parámetros de operación de los principales equipos. Se realizaron los balances de masa y energía requeridos para su implementación automatizada, montados en Hojas de Cálculo Electrónicas (Excel) que permite analizar la influencia de las principales variables del proceso como: °Brix del jugo mezclado, °Brix de la meladura, % de extracción molinos, bagazo % caña, entre otras. También se propuso el montaje de una nueva caldera para aumentar la entrega de vapor a los turbogeneradores y la entrada de agua al sistema; además la situación de la pérdida de agua en el proceso. Se realizó la evaluación económica por medio de un estudio de factibilidad donde se determinó los principales indicadores económicos y se demostró que resulta factible económicamente.

Palabras claves: azúcar, producción, energía y eficiencia.



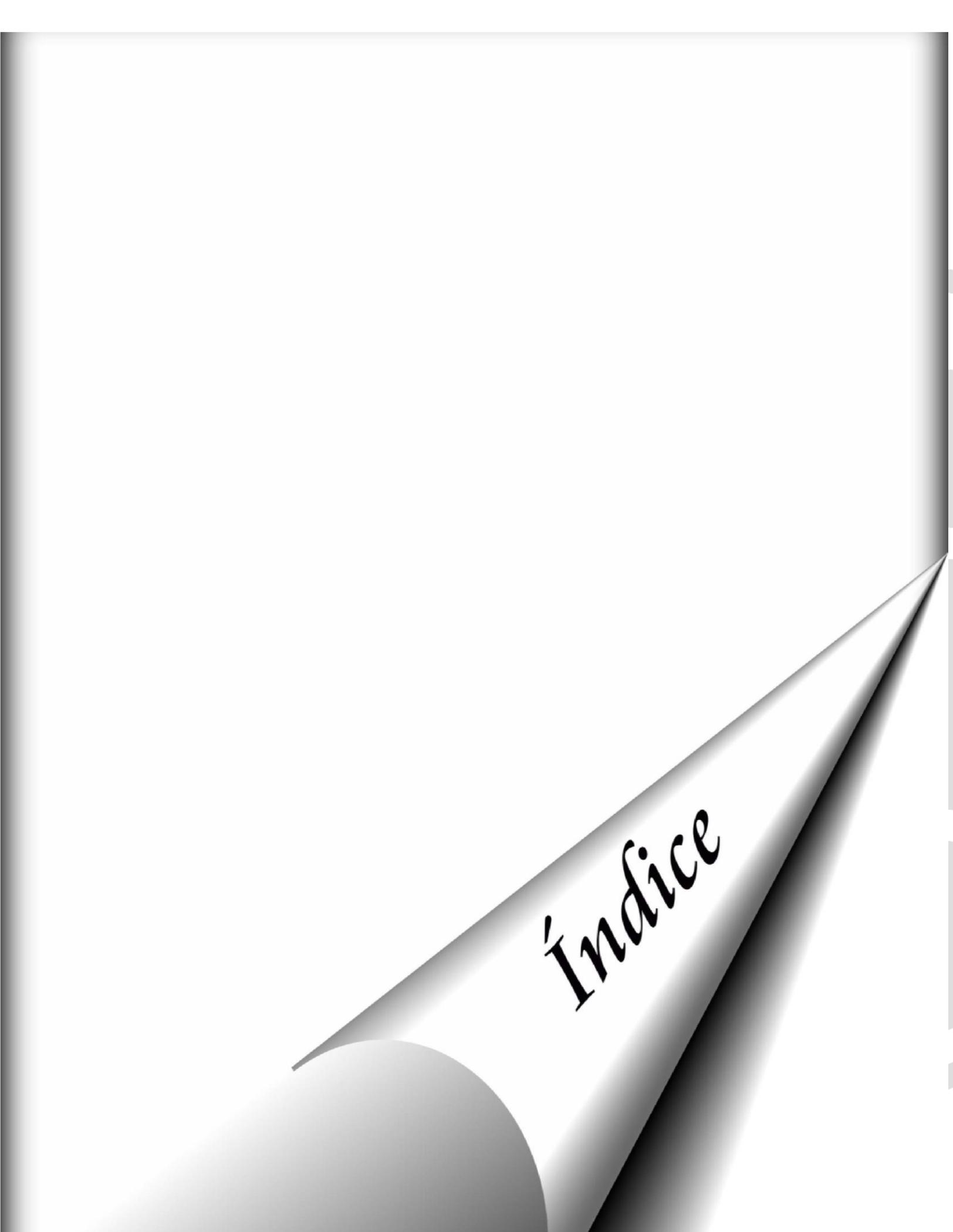
Summary



SUMMARY

The investigation accomplished at the Sugar Factory “Ciudad Caracas” that she is located at Cienfuegos's province, the municipality of Lajas, has the potential to improve agroindustrial yields and to contribute a greater value to its co-products, with the use of biomass and the increase in the indexes of electric power generation. 2022-2023 as well as the principal teams' detailed description of the process with his technical characteristics and the parameters of operation finds an analysis of the sugar cane harvest in this. The balances of mass and energy required for your implementation automatized, mounted in Electronic Spreadsheets came true (Excel) that it allows analyzing the influence of the principal variables of the process like: oBrix of the mixed juice, the meladura's oBrix, % of extraction mills, waste pulp % cane, between another one. Also the set-up of a new boiler is intended to increase the steam-driven delivery to itself the turbogenerators and the entrance of water to the system; besides the situation of the loss of water in the process. The cost-reducing evaluation by means of a feasibility study where the principal indicators cheap to run were determined came true and it was proven that it proves to be feasible economically. The software for the realization of the balances of mass is attached and energy and cost-reducing evaluation at the Sugar Factory.

Key words: Energy, sugar, production, economic, efficiency and results.

A stylized graphic of a rolled-up scroll, rendered in grayscale. The scroll is unrolled from the bottom left towards the top right. The word "Índice" is written in a black, elegant serif font on the visible surface of the scroll. The background is plain white.

Índice



ÍNDICE

Contenido	Págs
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 La caña de azúcar. Generalidades	4
1.2 Situación de la industria azucarera mundial y en Cuba	6
1.3 Agroindustria Azucarera: principal fuente de biomasa en Cuba.....	7
1.4 Influencia de la industria azucarera en el panorama energético a nivel internacional y en Cuba.	11
1.4.1. El bagazo y los residuos agrícolas cañeros como fuentes de energía en la producción de azúcar	13
1.5 Manejo de la energía térmica en el proceso de fabricación de azúcar	17
1.6 Características del Diagnóstico Energético	18
1.6.1. Aspectos a tener en cuenta en la realización de un diagnóstico energético en un central azucarero.....	19
1.6.2 Esquemas energéticos más usados en la industria azucarera y en valor de los parámetros de trabajo de los mismos.....	20
1.6.3 Optimización energética de la industria azucarera	22
1.7 Sistema de aguas	24
1.7.1 Tratamiento de aguas para las calderas	25
1.8 Balances energéticos en los centrales azucareros	25
1.9 Identificación de riesgos tecnológicos y ambientales en la industria azucarera	27
Conclusiones parciales	29
CAPÍTULO II: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DE LA UEB CENTRAL AZUCARERO “CIUDAD CARACAS”	30
2.1 Metodología de desarrollo de la investigación.....	30
2.2 Caracterización de la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”	31
2.3 Balance de masa y energía	35
2.4. Comparación en tres niveles de producción diferente	46
Conclusiones parciales.....	48



CAPÍTULO III: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	49
3.1 Análisis de los resultados del balance	49
3.2 Propuesta de inversiones para las mejoras tecnológicas	49
3.3 Evaluación económica de la UEB central azucarero “Ciudad Caracas”	52
Conclusiones parciales	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	

A 3D rendering of a white pen, viewed from a low angle. The pen is oriented diagonally from the bottom left towards the top right. The word "Introducción" is written on the barrel of the pen in a black, serif font. The pen has a white body and a dark grey or black cap. The background is a plain, light grey gradient.

Introducción



INTRODUCCIÓN

La tendencia de hoy en día a nivel internacional y en el país es la de llevar la industria azucarera a altos niveles de producción y eficiencia, con el objetivo de generar una mayor cantidad de energía eléctrica. En este proceso el vapor generado a base de bagazo y residuos agrícolas cañeros es un portador energético clave. En esta dirección, se hace imperativo elevar los parámetros de trabajo de los ciclos de generación de potencia en este sector, como la presión y la temperatura de trabajo de las calderas y los turbogeneradores, e implementar todas las mejoras conceptualmente posibles.

En Cuba la industria de la caña de azúcar atravesó por un período de redimensionamiento y reordenamiento con el objetivo de alcanzar mayores beneficios económicos, tecnológicos y ecológicos. Desde hace varios años se ha prestado una gran atención a la diversificación de esta industria, en busca de alternativas más atractivas a través de la integración de procesos que tiendan a tecnologías más limpias, aprovechándose los recursos materiales y energéticos de los procesos involucrados (Catá, 2016, p. 23).

El desarrollo de la industria azucarera requiere por una parte diversificar sus producciones en la instalación productora para generar coproductos que como la electricidad tienen una amplia demanda en la industria y en la sociedad, por otra parte es necesario aprovechar experiencias internacionales que permitan disminuir los costos de producción y la incertidumbre asociada al abastecimiento de las instalaciones industriales, lo que sin duda obligará en ambos casos a evaluar los efectos negativos que los cambios tecnológicos y las nuevas inversiones generen (Watson, 2018, p. 41).

Actualmente, la industria azucarera aporta el 3,5 por ciento de la generación de electricidad del sistema electro energético nacional (SEN) de Cuba. El plan para elevar la eficiencia energética en el país contempla que para 2030 una veintena de ingenios generen un excedente de 755 MW para alimentar la red del SEN. Actualmente, las energías renovables solo representan 4,6 por ciento de la generación y el resto lo aportan los combustibles fósiles. La paulatina instalación en los ingenios de modernas plantas bioeléctricas, necesarias para lograr ese objetivo, requiere una inversión estimada en 1.290 millones de dólares, que AZCUBA espera obtener de préstamos gubernamentales o inversiones extranjeras. (Gutiérrez, 2013, p. 32)



La UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas” es una unidad que considera que tanto la contaminación ambiental como los costos energéticos pueden ser controlados y reducidos, a partir de instituir medidas que no requieren una gran inversión. En aquellos casos en que se han integrado varias unidades en un complejo productivo, no se tuvo en cuenta aspectos como: el hecho de que una planta disminuya su capacidad de producción, o salga de funcionamiento por problemas operacionales, o de mantenimiento, escasez de una materia prima, problemas con la calidad del producto y otros aspectos que han limitado el alcance de la integración de procesos, por todo ello se hace necesaria la consideración de la incertidumbre en los balances de masa y energía.

En muchos casos las mejoras se pueden llevar a cabo con un costo bajo, mediante la introducción de pequeños cambios en el funcionamiento de un proceso o un equipo para optimizar su desempeño. Las UEBs Azucareras han tomado medidas para lograr un mejoramiento en los índices de consumo energético y así poder cumplir con su plan, también lograr la disminución de las pérdidas en los equipos que juegan gran importancia en la calidad de estos y todas estas medidas estarán sobre la base de la aplicación automatizada de balances energéticos que faciliten analizar la influencia de las principales variables del proceso sobre el consumo energético y la toma de decisiones operacionales sobre bases técnicas.

Con la existencia de una estructura organizativa, una comisión de ahorro de energía, así como de un administrador de energía capacitado, sin dudas contribuirá significativamente a la mejor gestión energética, pero la ausencia de balances energéticos automatizados impiden la evolución y el mejoramiento continuo de la misma, sobre la base de un programa estable y de largo plazo (Catá, 2016, p. 34).

La UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas” es parte de un proyecto nacional e internacional en colaboración con Venezuela, donde los venezolanos invertirán para lograr la introducción de nuevas tecnologías y así la dirección de la unidad contará con tecnología de avanzada, que permite satisfacer la demanda y producir azúcares de elevada calidad, lo cual le permitirá estar entre los primeros en el mercado mundial.

A través del balance energético se puede tomar medidas operacionales sobre las bases técnicas para disminuir el consumo energético y a través de esta disminución lograr un menor costo de producción y aumentar la eficiencia del ciclo productivo. También con este estudio se podrá



dar un uso adecuado al agua, a los residuos para lograr un menor impacto ambiental de gran beneficio para la sociedad y para la producción de azúcar en la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”

Teniendo en cuenta los elementos antes señalados, se formula el siguiente:

Problema Científico:

El sistema de gestión energética de la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas” de la provincia Cienfuegos presenta deficiencias tecnológicas en las áreas de molienda y de generación y distribución de vapor y agua que limitan el aprovechamiento de la energía y disminuyen la eficiencia energética.

Hipótesis:

Mediante los balances de masa y energía es posible realizar la evaluación del sistema de gestión energética que permitirá identificar las deficiencias tecnológicas que disminuyen la eficiencia energética de la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”.

Objetivo General:

Evaluar el sistema de gestión energética, mediante los balances de masa y energía que posibilite la identificación de las deficiencias tecnológicas y elevar la eficiencia energética.

Objetivos Específicos

1. Establecer los fundamentos teóricos-conceptuales que sustentan la investigación.
2. Realizar los balances de masa y energía para determinar los consumos de vapor en las etapas fundamentales del proceso de producción de azúcar crudo, que permita realizar una evaluación energética.
3. Analizar la influencia de las principales variables operacionales del proceso en el consumo energético de la unidad que posibilite evaluar económicamente el aprovechamiento de la energía.
4. Proponer alternativas tecnológicas que garanticen las mejoras energéticas, fundamentadas por la evaluación económica.



Capítulo I



CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La agroindustria de la caña de azúcar puede y debe ayudar a afrontar en un futuro inmediato tres importantes desafíos que hoy enfrenta la humanidad: la producción de alimentos, el déficit energético, y la preservación del medio ambiente (González, 2015, p.21).

Por ello la identificación de las áreas de mayores consumos energéticos, de insumos y combustibles, y la determinación de esquemas de cogeneración adecuados, pueden contribuir a establecer un plan de mejoras tecnológicas, traducándose en el incremento de la producción de electricidad a la red nacional, así como la eficiencia y sostenibilidad de dicha industria teniendo en cuenta el carácter renovable de la caña de azúcar.

En el presente capítulo se identifican las principales características del proceso de producción de azúcar crudo, de los sistemas de gestión de la energía y de condensados, así como elementos en el uso eficiente de los mismos para la posterior reducción de sus consumos.

1.1 La caña de azúcar. Generalidades

El cultivo de la caña y la producción de azúcar han sido, desde el mismo nacimiento de la nación cubana, base de su economía y un elemento significativamente vinculado a su desarrollo social, a su cultura y a sus tradiciones.

La caña de azúcar es una planta proveniente del sureste asiático. La expansión musulmana supuso la introducción de la planta en territorios donde hasta entonces no se cultivaba. Así llegó al continente europeo, más en concreto a la zona costera entre las ciudades de Málaga y Motril, al ser esta franja la única zona de Europa donde arraigó. Posteriormente a finales del siglo XV los españoles llevaron la planta, primero a las Islas Canarias, y luego a América (Peña, 2017, p.22).

Así este cultivo se desarrolló en países como Cuba, Brasil, México, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, que se encuentran entre los mayores productores de azúcar del mundo. La misma es adaptable a diferentes tipos de climas y posee una importancia económica meritoria en el



campo de la industria alimenticia mundial, es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz, cuyo tallo es esencial para la producción de azúcar, dividido en nudos y entrenudos, en el que se forma y acumula un jugo rico en sacarosa que al ser extraído y cristalizado en el central forma el azúcar.

Tiene características relevantes que la sitúan como la planta comercial de mayores rendimientos en materia verde, energía y fibra, obtenidos en ciclos de tiempo menores que otras especies. La misma es adaptable a diferentes tipos de climas y posee una importancia económica meritoria en el campo de la industria alimenticia mundial. Alcanza entre 2 y 5 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro. Se conocen diversas variedades cultivadas, que se diferencian por el color y la altura del tallo (Seijas, 2015, p.18).

La caña requiere de abundante agua. Su período de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, al depender de la variedad de caña y de la zona. Requiere de nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos oligoelementos para su fertilización. En zonas salinas se adiciona azufre para controlar el sodio. Es una planta que asimila muy bien la radiación solar y tiene una eficiencia cercana a 2 % de conversión de la energía incidente en biomasa. Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año (con 14 % a 17 % de sacarosa, 14 % a 16 % de fibra y 2 % de otros productos solubles) como se muestra en la Tabla 1.1.

La caña se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original; una vez plantada la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta al estar madura. La planta se corta cada 12 meses y la plantación dura aproximadamente 5 años (Cenicña, 2013, p.21) en buenas condiciones. Cada estructura de la caña de azúcar va a tener un rendimiento en la producción como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.1. Componentes de la caña de azúcar (Cenicña, 2013).

Componentes	Proporción	Componentes	Proporción
Agua	73 - 76 %	Glucosa	0,2 - 0,6 %
Sacarosa	8 - 15 %	Fructosa	0,2 - 0,6 %
Fibra	11 - 16 %	Sales	0,3 - 0,8 %
Ácidos Orgánicos	0,1 - 0,8 %	Otros	0,3 - 0,8 %



Tabla 1.2.- Estructura vegetariana de la caña de azúcar en función del rendimiento (Casanova, 2012).

Rendimiento, t/ha	Tallos, %	Otros, %
30 – 50	78	22
51 – 70	79	21
71 – 85	80	20
Más de 85	82	18

1.2 Situación de la industria azucarera mundial y en Cuba

La caña de azúcar ocupa un área de 20,42 millones de hectáreas en todo el mundo. Como es un cultivo tropical, la gran mayoría se cultiva en América Latina, India y el Lejano Oriente. Muchos países en África cultivan individualmente pequeñas superficies. Brasil, India, China, Tailandia y Pakistán cultivan más de un millón de hectáreas. La superficie en Brasil ha aumentado un 40 % en la última década. Las áreas en India, Pakistán y EE.UU. han permanecido bastante estables, pero la superficie de caña de azúcar en Cuba ha disminuido drásticamente en los últimos años. La caída de la industria de la caña de azúcar en Cuba fue consecuencia del colapso de la Unión Soviética y del mercado que esta representaba, además de una gran sequía y de otros aspectos.

El azúcar de caña es un importante producto de exportación para muchas Islas del Caribe, pero se espera que colapse con la eliminación del actual sistema de proveedores preferenciales en la Unión Europea. Durante los últimos diez años, la producción mundial de caña de azúcar ha aumentado en un 27 %, a más de 1,8 billones de toneladas. Esto puede atribuirse a un 22 % de aumento en el área cosechada y a un 6 % de mejora en el rendimiento. Entre los países líderes, la producción de caña de azúcar ha incrementado más en Brasil, China y Colombia. Sin embargo, como la caña de azúcar se cultiva en 101 países, y para una docena de éstos representa el 25 % de su tierra de cultivo, su cultivo y procesamiento proporciona sustento para millones de personas y su exportación mantiene a muchas economías nacionales (Seijas, 2015, p. 27).

El cultivo de la caña de azúcar en Cuba estuvo presente en 146 municipios de los 169 que tiene el país antes del 2002 (Sáenz, & col, 2009, p. 9). Durante el “período especial” las áreas agrícolas sufrieron un fuerte descenso en su rendimiento agrícola.



La esencia de la concepción estratégica del entonces Ministerio del Azúcar, hoy Grupo Azucarero AZCUBA, fue definida por el Comandante en Jefe en abril del año 2002, al considerar "...la reestructuración del sector como única vía para bajar los costos y lograr la eficiencia económica...". Ese mismo año comenzó un profundo proceso de transformaciones en la agricultura cañera denominado "Tarea Álvaro Reynoso", cuyo objetivo primordial fue lograr el aumento de la producción de azúcar y promover paralelamente la sostenibilidad de la agricultura cañera y la industria sobre la base del conocimiento.

Como resultado de esta decisión el país hoy cuenta con 46 centrales azucareros y un fondo de tierras de 600 000 ha aproximadamente dedicadas al cultivo de la caña de azúcar.

1.3 Agroindustria Azucarera: principal fuente de biomasa en Cuba

Entre las fuentes renovables de energía en estudio, la más antigua, utilizada y difundida, es la energía obtenida a partir de la biomasa (Diez, 2012, p.25).

En Cuba la principal fuente de energía renovable es la biomasa proveniente de la industria azucarera, pues la caña además de ser uno de los principales cultivos del país, es el captador más vivo eficiente de la energía solar por lo que se van a determinar altos rendimientos agrícolas que se pueden obtener como cultivo anual (Curbelo, 2018, p.31).

Históricamente la producción de energía eléctrica en el país ha tenido como soporte principal la utilización de centrales termoeléctricas que consumen actualmente alrededor de 40 % de los combustibles derivados del petróleo, para generar más de 80 % de la electricidad total producida en el país. Esta situación implica que la producción de energía eléctrica depende de la capacidad para la importación de combustible, para lo cual se destina una parte importante de las divisas disponibles. La única alternativa viable para cambiar esta dependencia de los necesarios combustibles importados, es a partir del aprovechamiento de las fuentes nacionales de energía, de las fuentes renovables y de la eficiencia energética (Pérez, 2015, p. 42).

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la energía solar en biomasa. Para ello se tiene en cuenta sólo el bagazo y la paja, en los cañaverales se almacena



alrededor del equivalente a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que pueda producirse (Reyes, 2013, p. 19).

Según Pérez, (2015) para lograr que las unidades azucareras cubanas puedan generar sus propias demandas energéticas y aportar excedentes a consumidores externos (Sistema Energético Nacional) con la sola utilización de su propio combustible (biomasa cañera), es necesario llevar a cabo una serie de acciones que permitan, a mediano o largo plazos, niveles de generación muy superiores a los actuales. En una zafra promedio en Cuba se pueden producir 70 millones de toneladas de caña (tallos verdes), obteniéndose 21 millones de toneladas de bagazo equivalentes a 4,2 millones de tce y 6 millones de toneladas de residuos agrícolas cañeros (en lo adelante RAC) equivalentes a 1 millón de toneladas de caña.

La biomasa aprovechable energéticamente es el bagazo y los residuos agrícolas cañeros. El bagazo representa el 30 % de los tallos verdes molidos y es el residuo fibroso de este proceso, se obtiene con un 50 % de humedad, esto significa que por cada hectárea cosechada es posible obtener anualmente 13,5 t de bagazo equivalentes a 2,7 tce (toneladas de combustible equivalentes 37,5 MJ/kg). Actualmente la propia industria azucarera y la de sus derivados consumen alrededor de 19 millones de toneladas de bagazo para satisfacer 74 % de la demanda energética del Ministerio del Azúcar, incluye todas sus actividades (Curbelo 2018, p.24).

Tipos de Biomasa

La naturaleza de la biomasa es muy variada, ya que depende de la propia fuente, al ser animal o vegetal, pero generalmente se puede decir que se compone de hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Al existir la biomasa vegetal la que se compone mayoritariamente de hidratos de carbono y la animal de lípidos y proteínas. La misma se puede clasificar de diferentes formas como:

- Biomasa natural: se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual: generada en cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tal como, basuras y aguas residuales.



- Biomasa producida: cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, en vez de producir alimentos, como la caña de azúcar, orientada a la producción de etanol para carburante.

En esta definición quedan excluidos del término de biomasa todos los productos agrícolas que sirven de alimentación al hombre y a los animales domésticos, así como los combustibles fósiles. Estos últimos, aunque derivan de materiales biológicos, a través de transformaciones se ha alterado muy profundamente su naturaleza.

Ventajas y desventajas del uso de la biomasa

Su uso presenta grandes ventajas como que es una fuente renovable, se considera la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, de manera que la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que se libera en su combustión, no depende de ninguna fuerza (como en la eólica), los combustibles generados a partir de la biomasa tienen una gran variedad de usos, probablemente sean los únicos combustibles primarios que puedan sustituir a la gasolina para el transporte, tiene un gran potencial para rehabilitar tierras degradadas, se evita la contaminación del medio una vez aprovechado los residuos orgánicos para la obtención de energía, se logra la ausencia de emisión de azufres e hidrocarburos altamente contaminantes (lluvia ácida) además, a partir de ella se obtienen productos biodegradables. También representa un impacto en la sociedad pues la construcción de una central y su mantenimiento generan puestos de trabajo así como es una forma de crear infraestructura rural, abre nuevas oportunidades.

La biomasa ha ganado espacio como fuente energética y hoy es responsable del 6 % de la generación de electricidad a escala mundial, lo cual demuestra el gradual y creciente interés por el uso de ese combustible renovable, considerándolo un guardián del medio ambiente. En el Sistema Energético Nacional (en lo adelante SEN) cubano, la generación de electricidad en los centrales azucareros, una vez utilizado biomasa cañera como combustible, alcanzó en el año 2000 el 6,1 % de la generación eléctrica total. Cuba, por su condición de gran productor de



azúcar, cuenta anualmente con grandes cantidades de bagazo y residuos agrícolas cañeros, que pueden ser utilizados en las industrias o en generación de electricidad.

A pesar de presentar grandes ventajas también tiene algunos inconvenientes pues solo es capaz de aprovechar residuos orgánicos, la construcción de una central provoca alteraciones en el medio natural, para conseguir un buen aporte energético se necesita gran cantidad de biomasa y por lo tanto ocupar grandes extensiones de tierra en el caso del cultivo energético, menor costo de producción de la energía proveniente de los combustibles fósiles, menor rendimiento de los combustibles derivados de la biomasa respecto de los combustibles fósiles (Fernández, 2013, p. 6).

Características energéticas y ambientales del uso de la biomasa cañera

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

Es capaz de almacenar 1,7 % de la energía existente en la radiación incidente en cultivos con irrigación y en condiciones experimentales, y 1,1 % en campos bien atendidos con riego. Para un valor calórico de 17 476 MJ/kg de materia seca (MS), con un contenido de materia seca de 30 % y un rendimiento de 100 toneladas de caña integral por hectárea, la producción energética de la caña es veinte veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla al central (Sánchez, 2015, p. 13).

Como promedio pueden emplearse las siguientes relaciones de sustitución:

- 5,2 toneladas de bagazo, 50 % de humedad por tonelada de petróleo (39,7 MJ/kg).
- Una tonelada de bagazo equivale a 231 m³ de gas natural.
- El valor calórico del bagazo (50 % humedad) es de 7,64 MJ/kg, semejante al de la madera: 7,9 MJ/kg (Reyes 2013, p.17).



La biomasa desempeña un papel importante en la reducción de la concentración de CO₂ de dos formas: como reservorio de carbón, absorbe CO₂ en su propio desarrollo, y como sustituto de combustibles fósiles al ser usada como fuente energética. Los combustibles de la biomasa contienen pequeñas cantidades de azufre comparado con el carbón y producen emanaciones disminuidas de dióxido de azufre (SO₂). Además, sus temperaturas de combustión son más bajas, las cuales ayudan a reducir las emisiones de (NO_x) (Pérez, 2015, p. 23).

La caña tiene posibilidades para sustituir los combustibles fósiles causantes de las lluvias ácidas, el efecto invernadero, entre otras consecuencias nocivas para la humanidad, al tener en cuenta que en Cuba existe potencial para producir gran parte de su energía a partir de la caña, siempre que se alcance un conocimiento y control sistemático de todos los aspectos que inciden sobre el empleo eficiente de estos recursos, para hacer que el pueblo cubano y el turismo que visite la Isla respiren una atmósfera más limpia a partir de una materia prima renovable (Villegas, 2018, p. 27)

1.4 Influencia de la industria azucarera en el panorama energético a nivel internacional y en Cuba.

La industria azucarera en algunos países del mundo representa una de las industrias con más posibilidades de desarrollo pues estas plantas además de producir azúcar, renglón importante de algunas economías en evolución, generan energía eléctrica. Por este motivo se busca una mayor eficiencia desde la generación de vapor hasta el uso eficiente del mismo tanto en los procesos de fabricación como en la generación de electricidad. Además de un uso eficiente de la energía eléctrica dentro de la industria, con el objetivo de hacer cada vez mayor la entrega a la red comercial. Bajo este punto de vista se trabaja a nivel internacional puesto que esta energía además de ser menos costosa de producir por la razón de que para generar el vapor se utiliza el bagazo proveniente de la caña que se muele; se evita el alto consumo de combustible fósil. Esto implica el uso de una fuente renovable de energía y una reducción en las emisiones de los gases de efecto invernadero perjudiciales para el medio ambiente que resultan de la quema de los combustibles fósiles.



En Cuba se sigue esta política de desarrollo sostenible y se han comenzado una serie de proyectos en la industria azucarera buscando modificaciones que permitan un aumento en la energía generada por toneladas de caña molida. Para esto se valoran aspectos como la variación de los parámetros de explotación (presión y temperatura) de las plantas generadoras.

Las bioeléctricas suscitan hoy creciente interés en el mundo y en Cuba ante la necesidad de producción de energía compatible con el medio ambiente. Actualmente una decena de naciones son paradigmas en el uso de esas instalaciones: Isla Reunión, India, Isla Mauricio, Australia, Isla Guadalupe, Belice, Guatemala, Estados Unidos, Costa Rica, China y particularmente Brasil, que posee 160 de 188 existentes en el orbe. Globalmente estas unidades tienen un potencia instalada de más 2 800 megavatios, y de esa cifra al menos dos mil corresponden a Brasil, secundado en cuanto a cantidad de bioeléctricas por la India (14) (Salomón, 2016, p. 23).

El efecto del incremento de la eficiencia de los ciclos termodinámicos con el aumento de sus parámetros es conocido desde siglos pasados. Lo anterior se pone totalmente de manifiesto cuando en el ciclo termodinámico (Ciclo Rankine) que se utiliza en la industria azucarera, se incrementan la presión y temperatura en el vapor que generan las calderas para su empleo en las turbinas que producen la electricidad. Esto se traduce en un incremento de la cantidad de electricidad generada por unidad de masa de caña molida (kWh/tc). Ahora bien, el incremento de los parámetros implica un incremento de los costos inversionistas y esto obliga a un balance entre incremento de la ganancia por aumento de la eficiencia y el referido incremento de los costos inversionistas. En resumen, el aumento de los parámetros, más que una decisión técnica es una decisión económica (Rubio, 2017, p.18).

El costo de una instalación de ese tipo se estima en 1,8 millones de dólares por megavatio instalado, para la adquisición de los equipos de las cinco áreas que las integran: plantas eléctrica (turbogeneradores), de vapor (calderas), de tratamiento de agua, y almacén de biomasa y enlace con el Sistema Electro energético Nacional (SEN). Si a ello se suman las obras de construcción y montaje la inversión puede ascender a dos millones 200 mil dólares. En realidad, son inversiones millonarias que se sustentan en el costo evitado al país en la



generación de electricidad con petróleo en las plantas de la Unión Nacional Eléctrica (UNE), ya que la caña es un cultivo que almacena energía solar siete veces más que cualquier otra biomasa hasta producir una tonelada equivalente a petróleo por cada tonelada de azúcar fabricada. El programa de AZCUBA consiste en poner en marcha desde 2015 hasta 2030 no menos de 765 megavatios en 19 plantas bioeléctricas, tanto anexas a centrales azucareros o con remodelación de la base energética existente. Los ingenios molerán durante (150180) días/año, a no menos del 85% de su capacidad (Salomón, 2016, p.27).

Actualmente el país negocia el montaje de tres bioeléctricas situadas en los ingenios Jesús Rabí, Ciro Redondo y 5 de septiembre, la primera en el occidente y las otras dos en la zona central, las cuales pueden aportar conjuntamente unos 140 megavatios. La industria azucarera cubana, con una generación total de 626 giga vatios /hora, aporta hoy el 86% de la energía suministrada por las fuentes renovables en esta isla. El 14% restante corresponde a la eólica, fotovoltaica, hidroenergía y solar térmica (Salomón, 2016, p.29).

1.4.1. El bagazo y los residuos agrícolas cañeros como fuentes de energía en la producción de azúcar

El bagazo constituye la principal fuente de energía en la producción de azúcar. Este proceso se basa en la cocción y posterior concentración del jugo extraído a la caña durante su molida. Se consumen 500 kg de vapor y 21 kWh/t de caña molida.

El bagazo ha sido utilizado históricamente como combustible en la industria azucarera, fundamentado por su valor calórico relativamente bajo (1 850 kcal/kg), (Diez, 2012) al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales, no hay duda 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. (p. 21)

Sólo en bagazo y paja en los cañaverales se almacena el equivalente a cerca de 1 tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar producida (Martínez, 2019, p. 26).



En la industria los generadores de vapor utilizan bagazo como combustible con una eficiencia entre el 50 y el 60 %, la cual está determinada ante todo por las calderas, de las cuales el 52 % tiene más de 45 años de instaladas. La capacidad de producción de vapor de estas calderas está entre 18 y 40 t/h y la presión de vapor en los centrales azucareros es baja, en el 65 % es de 1 MPa, en el 22 % de 1,7 MPa y en el 8 % restante de 2,7 MPa (Martínez. 2019, p. 29).

Contenido de humedad del bagazo

Esta es la propiedad más importante desde el punto de vista de la producción de vapor. Si el trabajo de los molinos es deficiente, el contenido de humedad del bagazo será de aproximadamente del 50 %; mientras que con un buen trabajo su contenido será de 48 %; normalmente oscila en un rango estrecho 44-50 % (Hugot, 1980, p. 4).

Contenido de cenizas del bagazo

El bagazo de la caña aporta alrededor de 2,8 % de cenizas; y los RAC, 9,5 aproximadamente.

Se plantea que el porcentaje de cenizas fluctúa entre 0,78 y 3,22, en dependencia del tipo de suelo, forma de alza y recolección. Los constituyentes de la ceniza varían en cantidad dentro de estrechos límites, de acuerdo con la cantidad de terreno, tipo de abono y variedad de la caña (Villegas, 2018, p. 33).

Tabla 1.3: Contenido de la ceniza del bagazo

Compuesto químico	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O+Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)
%	82,7	1,1	3,4	3,0	3,5	4,6	1,7	-



Caracterización de los RAC como combustible

Los RAC los últimos años ha sido de gran utilidad para la producción del azúcar como combustible para los centrales azucareros, con el objetivo de eliminar el petróleo y la leña como combustibles adicionales o para ahorrar bagazo y suministrarlo como materia prima a otras industrias. Adicionalmente constituyen un extraordinario potencial para la generación de electricidad en los propios centrales o en centrales termoeléctricas. Estos están constituidos por las hojas verdes y secas de la caña y por pedazos de su tallo.

Los RAC tienen tres fuentes fundamentales de origen:

- Centros de acopio de caña para su procesamiento (corte y limpieza) y trasbordo a carros de ferrocarril.
- Centros de limpieza donde a la caña se le quita la paja (limpieza) y se trasborda a carros de ferrocarril.
- Recolección directa en el campo.

El uso de los RAC como combustible depende ante todo de la posibilidad de su recolección. En Cuba se cosecha el 70 % de la caña en forma mecanizada por medio de cosechadoras que reintegran el 50 % de los RAC al campo, posteriormente en centros de acopio y limpieza de la caña cosechada se separa el 50 % de los residuos agrícolas que traen del campo. Como promedio es posible recolectar 3,75 t de RAC por hectárea de caña cosechada equivalentes a 0,62 tce (toneladas de combustible equivalentes 37,5 MJ/kg) (Reyes, 2013, p. 16)

Perspectivas de empleo de los RAC como combustibles

- Las perspectivas para el incremento sostenido de los RAC como combustible en Cuba son amplias y se fundamentan en varios factores, entre ellos:
- La necesidad de reducir el consumo de fuel oil en las refinerías de azúcar y destilerías de alcohol anexas a centrales azucareros, se aplica los RAC como combustible



complementario. Está ampliamente demostrada la factibilidad económica y dominadas las diferentes variantes técnicas que se deben emplear.

- El interés de muchos centrales de generar electricidad después de concluida la zafra, para lo cual necesitan como combustible no sólo el bagazo que puedan ahorrar, sino todos los RAC que puedan almacenar.
- La decisión en el país de montar centrales termoeléctricas anexas a centrales azucareros que necesitaran un combustible complementario, que alternativamente pueden ser los RAC.
- La diversificación de la producción azucarera, planteada como estrategia maestra de la industria azucarera para las próximas décadas, reclamará combustible adicional para el funcionamiento de diferentes producciones y los RAC pueden indiscutiblemente ser una buena alternativa. Dentro de esta diversificación concebir la industria azucarera como una industria sucro-energética es muy atractiva.
- Otro elemento, que si no de inmediato en un futuro impulsará el empleo de los RAC como combustible, es su condición de biomasa renovable anual, que hace que su combustión no incremente el efecto invernadero ni las lluvias ácidas y de hecho contribuye a la preservación del medio ambiente (Rubio, 2017, p. 11).

Contenido de humedad de los RAC

La humedad del RAC es variable y disminuye con el tiempo de su recolección. Toma como base un secado natural al sol en las plataformas de los centros de acopio, varía aproximadamente como sigue:

Tabla 1.4: Variación de la Humedad de los RAC con el tiempo de recolección

Tiempo (días)	0	1	2	3	4	5
W ^P (% humedad)	60	45	36	26	20	16



Contenido de ceniza de los RAC

El contenido de ceniza de los RAC es elevado, esto se debe a que las hojas tienen un alto contenido de sustancias minerales que utilizan en la fotosíntesis. Estos valores oscilan entre 6 y 13 % (Rubio, 2017, p. 13).

Comparación entre los RAC y el bagazo en el proceso de combustión

- El bagazo tiene mayor calor de combustión (para humedad = 0 %) dado sobre todo por tener los RAC mayor contenido de ceniza; sin embargo, como el bagazo se quema con cerca de 50 % de humedad y los RAC tienen un proceso de secado natural (hasta aproximadamente 20 %) los RAC entregan más energía por unidad de masa quemada.
- Los RAC introducen más cenizas en el horno, esto incrementa los residuos que hay que extraer y acorta los períodos de limpieza, recarga los sistemas de separación de sólidos volátiles e incrementa la contaminación ambiental por material particulado.
- En general las propiedades de los RAC son muy parecidas a las del bagazo y a muchas otras biomásas. Otra característica muy importante de los RAC es su densidad, pues esta decide extraordinariamente sobre su costo de transportación. En condiciones originales en las plataformas de las Unidades Azucareras los RAC presentan una densidad de 30-40 kg/m³, con aproximadamente 40 % de humedad ((Rubio, 2017, p. 15).).

1.5 Manejo de la energía térmica en el proceso de fabricación de azúcar

En la actualidad a nivel mundial existe una crisis de la energía la cual ha tenido una repercusión en la economía de los países. Las empresas han visto como la energía ha pasado de ser una parte pequeña en el costo de producción, para representar una parte importante de dicho costo. Hoy, se requieren cada vez de más energía, es por ello que la alternativa del ahorro y uso racional de la energía tiene singular importancia debido al déficit de recursos energéticos. En este aspecto la industria azucarera es privilegiada, ya que tiene la oportunidad de obtener a partir de la materia prima que procesa el combustible necesario para su operación, pues el bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, posee un elevado valor calórico y a su vez



es un combustible renovable, así como también los residuos agrícolas de la cosecha (RAC), que son una importante fuente de energía si se aprovecha con eficiencia.

El consumo de energía térmica en las unidades de azúcar es alto debido a la gran cantidad de agua a evaporar, por lo que el consumo de bagazo se incrementa. En general, la situación actual es tal que la eficiencia térmica no es mayor que la que garantiza no usar un mínimo de combustible externo.

En el aspecto energético la industria azucarera se ha caracterizado por la autosuficiencia energética al contar con el bagazo como su combustible natural por tanto, se debe esperar que esta situación se mantenga en las condiciones de desarrollo actual y prospectivo de esta industria. Con el nivel tecnológico en cogeneración con bagazo y paja se pueden producir en el país más de 20 000 GWh/año (Janeiro, 2016, p. 13).

1.6 Características del Diagnóstico Energético

El concepto actual de diagnóstico o auditoría energética se expresa como la aplicación de un conjunto de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con que se produce, transporta y usa la energía en los diferentes equipos de las instalaciones analizadas. El diagnóstico energético tiene por objetivo identificar oportunidades de uso eficiente de la energía, se emplean distintas técnicas para evaluar grado de eficiencia con que se produce, transforma y usa la energía. Constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de la empresa, para establecer el grado de eficiencia en su utilización, para identificar los principales potenciales de ahorro energético y económico, y para definir los posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética (Borroto, 2006, p. 21), y establecer una línea base contra la cual se deberán evaluar los beneficios obtenidos como resultado de la implementación de las mejoras y recomendaciones asociadas con las oportunidades identificadas.

De acuerdo con (CNEE, 2010) los objetivos principales de un diagnóstico energético son:

- Establecer metas de ahorro de energía.
- Diseñar y aplicar sistemas integrales para el ahorro de energía.
- Evaluar técnica y económicamente las medidas de ahorro de energía.



- Disminuir el consumo de energía, sin afectar negativamente los niveles y condiciones de producción.

Con la realización del diagnóstico se logra la optimización del uso y administración de energía. Se conoce cómo y dónde se utiliza la energía eléctrica con el fin de establecer el gasto innecesario de la misma y se elimina del despilfarro de energía (EGRANCONEL, 2006).

1.6.1. Aspectos a tener en cuenta en la realización de un diagnóstico energético en un central azucarero

Para el cálculo del consumo de vapor de los diferentes equipos que intervienen en el proceso de fabricación del azúcar de caña en un central azucarero, se requiere establecer previamente las variables y parámetros que son necesarios medir y/o determinar. Según (Rodríguez, 1997), algunos de estos son los siguientes;

- Máquinas de vapor y bombas de vacío: presión de entrada y de salida del vapor, r/min de la máquina, carrera del pistón, área efectiva del pistón, presión media efectiva a partir de los diagramas indicadores o por cálculo.
- Turbogeneradores: presión de entrada y de salida del vapor, temperatura de entrada y de salida del vapor, kW producido en la unidad hora.
- Generadores de vapor: presión del vapor a la salida del generador de vapor, temperatura del vapor a la salida del generador de vapor, humedad del bagazo y % de bagazo en caña, superficie total instalada, análisis de los gases de salida, temperatura de los gases de salida.
- Calentadores: presión del vapor de escape o secundario, temperatura del vapor de escape o secundario, temperatura de entrada del jugo, temperatura de salida del jugo, concentración del jugo alimentado (Bx), temperatura del condensado, masa de jugo alimentado.- Estación de evaporación: presión del vapor en la calandria, temperatura del vapor de la calandria, presión del vapor en el cuerpo, temperatura del vapor en el cuerpo, temperatura de ebullición, temperatura del jugo alimentado, temperatura del condensado, concentración de entrada al efecto (Bx), concentración de salida del efecto (Bx), masa del jugo alimentado al primer efecto o al pre- evaporador.



- Tachos: volumen del material inicial (pie o semilla), volumen final alcanzado en el tacho, concentración del producto final (Bx), concentración del producto alimentado (Bx) (miel o meladura), concentración del producto final (Bx) (masa cocida), tiempo de operación en cada cochura, temperatura del condensado.

1.6.2 Esquemas energéticos más usados en la industria azucarera y en valor de los parámetros de trabajo de los mismos

En la industria azucarera existen una serie de esquemas en la generación de energía, cada una con distintos parámetros de operación y difieren además en el tipo de tecnología que tienen instalada.

Dentro de los más usados se encuentran: ciclo a vapor con turbina de contrapresión, convencional y más difundida (Figura 1.1), ciclo de vapor con turbina de extracción-condensación con altos parámetros de vapor de 40-80 bar, tecnología comercial, moderna y eficiente (Figura 1.2), ciclo combinado con gasificación del bagazo y ciclo combinado con turbina de gas y turbina de vapor (tecnología avanzada en etapa de demostración) (Alba, 2017, p. 27).

Con el uso de este tipo de tecnologías en el mundo se obtienen índices de generación tanto de vapor como de electricidad por tonelada de caña molida se tomaran los siguientes datos de Alba (2017) como referencia para un posterior análisis: (p. 29)

1. Central azucarero típico: 550 kg/tc, 20 kWh/tc de electricidad.
2. Fábricas modernas: 350 kg/tc y 50 kWh/tc.
3. Centrales de Hawai: 60 kWh/tc (valor medio), algunos 100 kWh/tc o más.

Además Rein (2017) expone que dado todos los problemas que afectan la cantidad de bagazo disponible para la producción de vapor en una base continua, la cantidad de bagazo disponible puede estar entre 22-35 t/100tc, pero normalmente es más en el rango 25 a 30 t/100tc. Así como la cantidad de vapor generada del bagazo depende de la eficacia de la caldera, la presión a que el vapor se genera y el valor calorífico (determinado por la humedad y volumen de la ceniza) del bagazo. Éstos varían de aproximadamente de 2,4-1,9 tv/tb a la presión alta con el



volumen de humedad de bagazo más alto. Esto arroja un índice de generación de vapor de 0,5805 tv/tc ó 580,5 kgv/tc.(p. 39)

Con respecto al índice de eficiencia de generación de energía eléctrica en la industria azucarera Rein (2017) expone los ejemplos de Pioneer en Australia con 30 kWh/tc y estimaciones en Mauricio que asumen 28 kWh /tc.

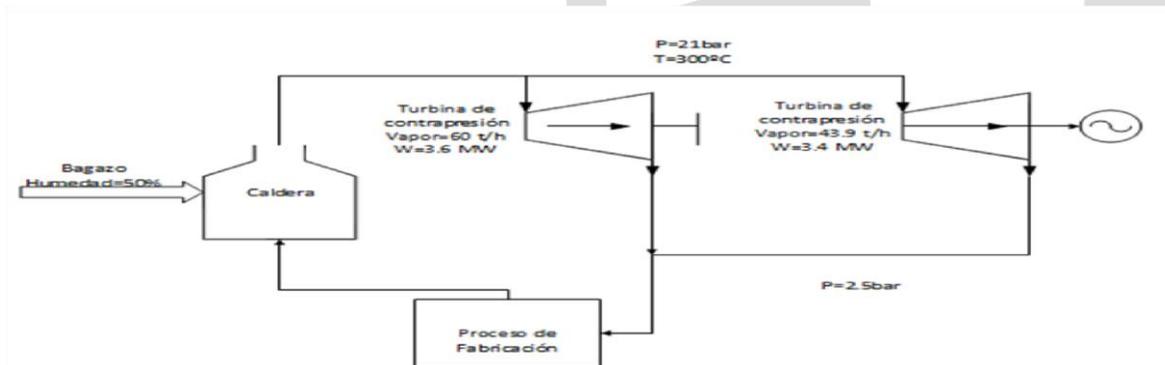


Figura 1.1 Esquema de generación con turbina de contrapresión.

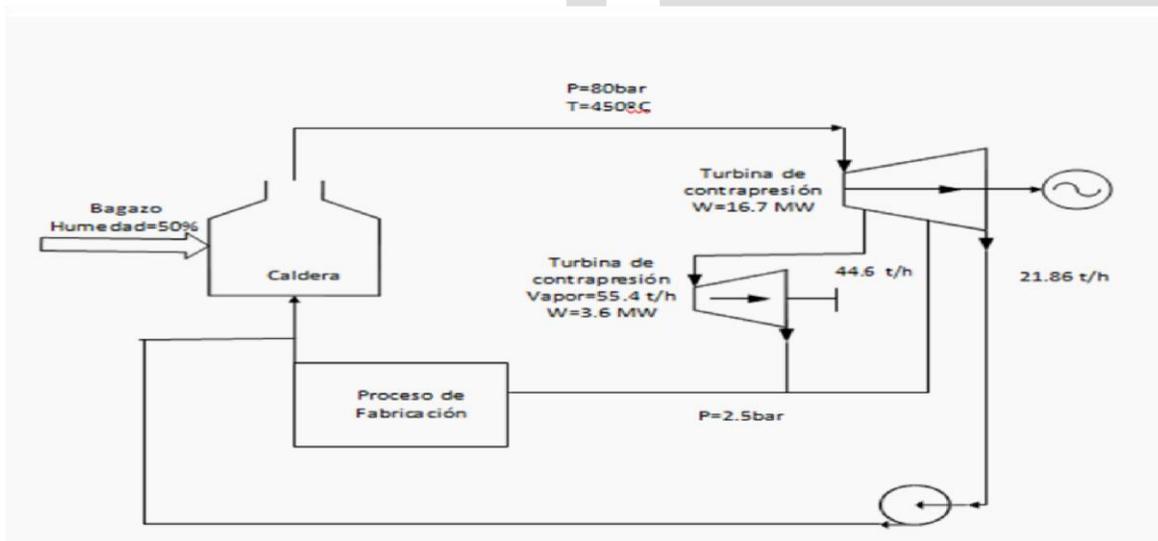


Figura 1.2 Esquema de generación con turbina de condensación con extracciones.



1.6.3 Optimización energética de la industria azucarera

Sin energía eléctrica no sería posible la sociedad moderna. El confort y el avance alcanzados serían imposibles sin su empleo. Mientras más se desarrolla la humanidad, más dependiente se hace de tecnologías que requieren del uso de la electricidad.

Hasta el momento el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha abordado en las empresas de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar parte de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene baja efectividad por realizarse muchas veces sin la integridad, los procedimientos y el equipamiento requerido, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar la empresa con la cultura de las capacidades técnico administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas. La entidad que no comprenda esto verá en breve limitada sus posibilidades de crecimiento y desarrollo con una afectación sensible de su nivel de competencia y de la calidad de los servicios que presta: quedará rezagada respecto aquellas que preparen sus recursos humanos y creen las capacidades permanentes necesarias para explotar este recurso, de magnitud no despreciable, en sus propias instalaciones.

La elevación de la eficiencia energética pueda alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí:

- Mejor gestión energética, buena práctica de consumo.
- Tecnologías y equipos eficientes.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa, no es sólo que exista un plan de ahorro energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo (Janeiro, 2016, p. 47).



Para llegar a conocer las condiciones actuales de los esquemas energéticos de las unidades de azúcar es necesaria la aplicación de un balance termo energético, porque puede reflejar las dificultades existentes y conducir a las económicas, evitándose un consumo de combustible adicional, o en casos de sobrantes a estudiar las fórmulas más económicas para su utilización (Espinosa 1975, p. 10).

En Cuba se realizan numerosos esfuerzos para fomentar el ahorro energético y potenciar la cultura energética y ejemplo de ello lo es desde el año 2002 el Frente de Energías Renovables (en lo adelante FER) que reúne esfuerzos para alcanzar una cultura energética y un desarrollo sostenible, a partir del uso creciente de las fuentes de energía renovables (Conde, 2011, p. 27).

En la industria azucarera de nuestros días el consumo de agua es uno de los grandes indicadores de eficiencia, ya que los factores que elevan el consumo de la misma son ineficiencias del proceso productivo que se encuentre ejecutándose, como la utilización de un exceso de equipos en relación con los que son realmente necesarios, desaprovechamiento de las aguas condensantes e inadecuados sistemas de recuperación, subutilización de las capacidades propia para la generación de la energía eléctrica, mala operación de calderas y hornos y uso inadecuado del vapor en los equipos del proceso (Catá *et al.* 2015, p. 39).

La inestabilidad del suministro de caña o por dificultades en las capacidades de almacenamiento de meladuras, masas cocidas o productos intermedios puede presentar afectaciones en la eficiencia térmica que signifiquen consumo de otro combustible hasta niveles equivalentes al 20 % o más del bagazo producido.

Entre los parámetros que definen las tecnologías de producción, aquellas que inciden mayormente sobre la eficiencia térmica son:

- Imbibición
- Brix de los líquidos alimentados a los tachos
- Humedad del bagazo



El agua de imbibición, que es de gran importancia para una buena extracción, significa al mismo tiempo, agua que es necesaria evaporar en el proceso de evaporación. La concentración de la meladura en los evaporadores a niveles inferiores que los requeridos para evitar la aparición de cristales es fuente de ineficiencia térmica del ciclo, ya que significaría un mayor consumo de vapor en los tachos.

1.7 Sistema de aguas

El ingreso del agua a la fábrica puede ser mediante el agua presente en el cuerpo de la caña, además del agua cruda agregada o en forma de agua de servicio. Es decir, existen dos vías fundamentales de consumo de agua en un ingenio azucarero: agua vegetal, que es aquella que entra al ingenio formando parte de la estructura de la caña de azúcar, alcanzando el 70% del peso de la caña; y el agua cruda, que entra al ingenio procedente de fuentes externas tales como pozos, ríos, presas, etc.

El agua vegetal es generalmente recuperada en el múltiple efecto y en los calentadores primarios, en forma de condensado vegetal, debiéndose esta denominación precisamente al hecho de que procede del agua contenida en la caña originalmente. Este condensado puede ser clasificado como condensado vegetal contaminado o condensado vegetal no contaminado, en dependencia de la presencia o no de azúcares.

El condensado vegetal no contaminado está apto para ser usado como agua de alimentación de las calderas de vapor, mientras que el condensado vegetal contaminado no es apto para este uso pues provoca deterioro en los equipos empleados. Los condensados contaminados se deben emplear como agua de imbibición, agua de lavado en los filtros, agua para la preparación de la lechada de cal, para la purga de las templeas en la centrifugación, así como para la dilución de las mieles A y B. Para dichos consumos es necesario emplear el condensado vegetal porque de utilizarse agua cruda ocasionaría problemas al proceso tecnológico, debido a su contenido de sales y otras sustancias que favorecen la formación de incrustaciones en los equipos. El agua cruda procedente de fuentes externas es generalmente usada en los centrales para reposición al enfriadero; enfriamiento de equipos, (bombas, compresores, turbogeneradores, cristalizadores); limpieza de tachos y evaporadores; reposición para las calderas (MINAZ, 1998).



1.7.1 Tratamiento de aguas para las calderas

El término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

El agua alimentada a las calderas está constituida por los condensados no contaminados de los calentadores, de los pre-evaporadores y del primer vaso del cuádruple efecto. Si esta agua no es suficiente se puede emplear los condensados recuperados del segundo vaso o agua tratada, la cual es obtenida en una planta de tratamiento. El agua cruda que llega a esta planta es tratada con Cloruro de Sodio y el tratamiento interno del agua de las calderas se realiza con Fosfato Trisódico, Soda (AHS) en dependencia de la caracterización física química de la misma (AZCUBA, 2019).

1.8 Balances energéticos en los centrales azucareros

El balance de energía es un método de análisis muy útil a la hora de valorar el rendimiento energético de una instalación, da una visión más amplia que el rendimiento térmico. Permite valorar las pérdidas de energía en un proceso, la energía que sería aprovechable de flujos salientes en sistemas abiertos y las ventajas de métodos regenerativos en instalaciones térmicas.

Factores agroindustriales que afectan el balance energético en un central azucarero durante la operación

- Inestabilidad de la molida.
- Cantidad de materias extrañas entradas a unidad.
- Recuperación del condensado a la mayor temperatura.
- Aislamiento térmico.
- Cantidad y temperatura del agua de imbibición.
- Humedad y preparación del bagazo.



- Eficiencia en la generación del vapor.
- Eficiencia del área de fabricación.
- Contenido de fibra en la caña.
- Mayor uso del vapor de las extracciones (AZCUBA, 2019).

Principales sugerencias para el mejoramiento del balance de agua en un central azucarero durante la operación

Los componentes del balance de agua se dejan agrupar conforme a las zonas en una sección vertical en el suelo constituyendo reservorios con flujo de entrada y de salida y almacenaje del agua.

El basamento fundamental de esas sugerencias está orientado según tres direcciones fundamentales: el uso según las categorías descritas en este mismo trabajo, las causas fundamentales que influyen en el consumo de agua en el central y la filosofía operacional de operar bien, con profesionalidad y sin pérdidas e impactos ambientales al mantenerse en el nivel más alto la eficiencia termo energética de la unidad.

- Aplicar el sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía para el recurso agua.
- Desarrollar un esquema de diagnóstico del recurso agua para la unidad.
- Establecer regímenes de molidas altos y estables.
- Perfeccionar la operación energética y el uso del vapor mediante manuales normativos.
- Adoptar en la medida de las posibilidades y de forma gradual esquemas de evaporación-cocción y calentamiento más eficientes.
- Mejorar operativamente la eficiencia en las plantas generadoras de vapor al incluir también modificaciones en los hornos y la introducción de nuevos elementos en calderas.
- Desarrollar métodos de control rigurosos (Peñalver & Espinosa 2012, p. 35)



1.9 Identificación de riesgos tecnológicos y ambientales en la industria azucarera

Herrick (2004) menciona que la identificación de riesgos es una etapa fundamental en la práctica de la seguridad e higiene industrial, indispensable para una planificación adecuada de la evaluación de riesgos y de las estrategias de control, así como para el establecimiento de prioridades de acción. (p.12)

Rodellar (1998) indica que la evaluación de riesgos consiste en determinar o valorar la gravedad o probabilidad que existan pérdidas a consecuencia de los riesgos identificados. Habrá que definir, por tanto, la probabilidad de que suceda una pérdida. (p. 22)

La participación de los trabajadores en el proceso de prevención de riesgos laborales se justifica por tres motivos principales: mejoramiento del desarrollo organizacional, mejoramiento de la productividad y eficiencia de la empresa y cumplimiento de normas éticas y legales.

Las metodologías participativas para la prevención de riesgos laborales son de gran ayuda para el encargado en salud laboral de la empresa, porque le permiten integrar su conocimiento y criterio profesional con la perspectiva de los trabajadores que son, en la mayoría de los casos, quienes conocen mejor los riesgos laborales, pues han estado expuestos a ellos durante mucho tiempo. Igualmente, los trabajadores pueden tener ideas prácticas y sencillas para controlar los riesgos laborales en sus lugares de trabajo (Verguizas, 2017, p. 15).

Un estudio realizado en varias áreas de un ingenio (Cáceres, 2010), la organización en el análisis primario, es decir, la identificación de riesgos, ha considerado como puntos críticos las áreas en la que se llevara a cabo la evaluación y presentación de este problema, considerando como causales directas, indirectas y básicas, los accidentes e incidentes dentro de la fábrica, presentados por riesgos físico, físico-mecánicos, químicos, ergonómicos y psicosociales clasificados según su origen.(p. 19)

Algunas causas generales encontradas en la identificación de riesgos son por agentes físicos como la temperatura que puede originar estrés térmico, las ondas sonoras, deslumbramientos o falta de iluminación etc. Como riesgos físicomecánicos se han identificado que en su mayoría se pueden presentar por malas instalaciones ocasionando caídas y golpes de todo tipo, Riesgos químicos ocasionados por agentes; tóxicos, corrosivos o irritantes generados en los procesos de apoyo dentro de la unidad.



En la actualidad, la prevención de riesgos laborales se ha convertido en un factor más a tener en cuenta en la gestión diaria de las empresas (Blanco, 2009, p.36).

Es necesario hoy, identificar cuáles son esas fuentes de riesgos e indagar los niveles de impacto de cada una de ellas con el ánimo de preparar a la industria para sortearlos con éxito, proceso que se puede lograr con la implementación de un sistema de administración de riesgos. La gestión integral de riesgos ha evolucionado de manera sustancial como consecuencia de la necesidad de gestionar en alguna forma la incertidumbre, en algunos casos, los eventos de gran impacto que pueden presentarse y cuyos resultados pueden ser extremos (Alzate, 2015, p. 41).

Producciones más limpias (P.M.L) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, producciones y servicios, para incrementar la eficiencia de los procesos, reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente y lograr la sostenibilidad del desarrollo económico. Para los procesos significa la conservación de materia prima y energía, eliminación del uso de materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos antes que salgan del proceso.

El condensado se obtiene en los equipos de transferencia de calor y procedente del vapor que es usado para el calentamiento, evaporación y cocción, el cual cede su calor de cambio de fase nombrado como vapor - líquido. Por tanto se obtiene en: calentadores de jugo, diferentes vasos de evaporadores y tachos.

Los condensados que se obtienen en cada equipo poseen diferentes características, como son: diferentes temperaturas y diferentes grados de contaminación, fundamentalmente la sacarosa. De acuerdo al grado de contaminación de las aguas de retorno se clasifican en puras y contaminadas. Los condensados puros son aquellos que no poseen trazas o son pequeñas menos de 40 mg/l, por encima de este valor se les clasifica como contaminados.

Los condensados de los equipos que se alimentan con vapor de escape directamente se le consideran puros. En el caso de que se usen extracciones su grado de contaminación puede variar, y por tanto debe ser sometido a análisis. El condensado se distribuye de las siguientes formas: agua de alimentar calderas y necesidades tecnológicas.



Los condensados contaminados son utilizados en diferentes necesidades tecnológicas como son: imbibición, dilución de mieles, lavado de la torta de los filtros, lavado de centrifugas y preparación de la cal.

En general los condensados no son aprovechados con alta eficiencia en la industria y al igual que los residuos que se generan en las limpiezas de los equipos tecnológicos que en muchas ocasiones se utilizan sustancias químicas para efectuar los mismos, pasan a formar parte de los residuales líquidos de la industria y afectan el medio ambiente de forma negativa, es por esta razón que es uno de los aspectos a tener en cuenta en la elaboración de una estrategia ambiental (Alonso, 2017, p. 25).

Conclusiones parciales

1. En muchos países productores de azúcar a base de caña, la utilización de la biomasa cañera constituye una fuente renovable de energía muy importante para la generación de electricidad y la promoción de un desarrollo sostenible. La biomasa más utilizada como fuente de energía en Cuba es el bagazo de caña, y mediante los sistemas de cogeneración es aprovechada aún más por su elevado potencial energético.
2. El análisis de los indicadores de eficiencia a partir de la evaluación energética y la aplicación de herramientas de simulación permiten seleccionar los sistemas de cogeneración más eficientes.
3. Las estrategias para la gestión de la seguridad y prevención de los riesgos en los procesos azucareros se sustentan en una correcta consulta, aplicación e integración de las normas internacionales para gestión de riesgos, el impacto ambiental y la energía, entre otras, que contribuyen a la reducción de los riesgos y a fortalecer las medidas de defensa civil y potenciales del poderío nacional.

Capítulo II



CAPÍTULO II: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DE LA UEB CENTRAL AZUCARERO “CIUDAD CARACAS”

2.1 Metodología de desarrollo de la investigación

La planta de caña de azúcar ocupa uno de los primeros lugares en el reino vegetal en cuanto a su efectividad de conversión de energía solar en biomasa, por unidad de tiempo y por unidad de superficie cultivada, lo que se refleja en el alto contenido energético acumulado. En condiciones determinadas puede resultar ventajoso desviar total o parcialmente los esquemas de producción hacia la obtención de energía en detrimento de las producciones tradicionales.

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

En el caso de estudio se pretende realizar los balances de masa y energía en la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero “Ciudad Caracas” requeridos para sus nuevas condiciones operacionales que posibilite una evaluación del sistema de gestión energética. Por consiguiente, se propone la siguiente metodología (Ver Fig. 2.2).

A continuación se describe el desarrollo de dicha metodología para facilitar su comprensión

Etapas: se realiza una revisión bibliográfica mediante la búsqueda de tesis, artículos, revistas, y diversa documentación fiable referente al tema.

Fase 1: Se realiza la actualización del balance de masa y energía.

Fase 2: Se realiza la evaluación del Sistema de Gestión Energética con la influencia de variables operacionales (consumo energético).

Fase 3: se establece la propuesta de alternativas tecnológicas.

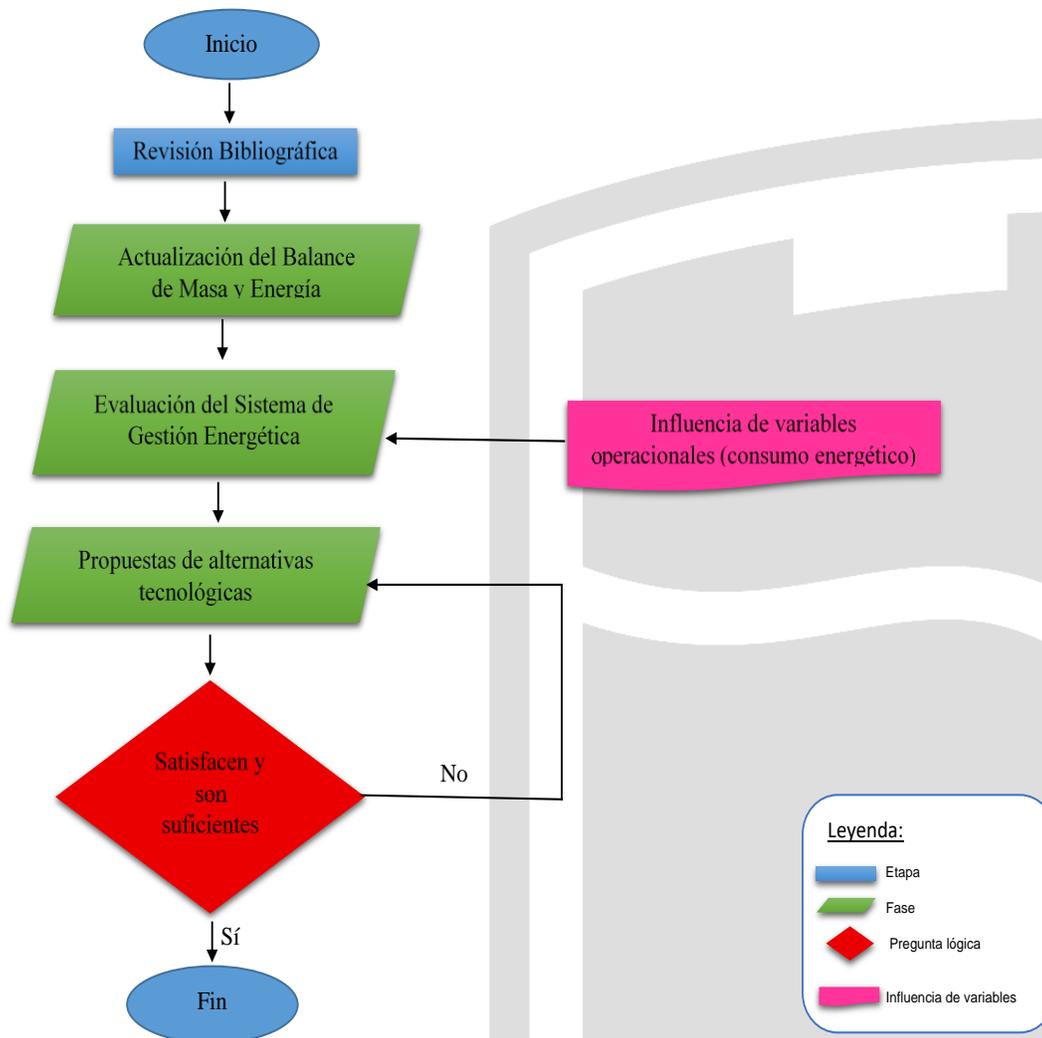


Figura 2.2: Metodología elaborada. Fuente: elaboración propia

2.2 Caracterización de la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”

El actual central azucarero fue fundado en junio de 1861 por Don Tomás Terry Adams, natural de Caracas, Venezuela y aparece registrado en el folio 3140 como “Ciudad Caracas”. A principios de la década de 1940, el Banco Boston vende el ingenio a los magnates azucareros Lobo-Escobedo-Caicedo quienes lo mantuvieron hasta el triunfo de la Revolución cuando fue nacionalizado.



La UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas” fue creada por Resolución 222/2006 del Ministro de la Azúcar con domicilio legal en el batey del mismo nombre y está situada geográficamente en el municipio Lajas, provincia Cienfuegos. Limita al Norte con la UEB “CA Efraín Alfonso” de VC, al sur con la UEB “El Pidió Gómez”, al este con el municipio de Cruces, y al oeste con la UEB “5 de Septiembre”. Se localiza en la carretera a Lajas, a 4 kilómetros del poblado de igual nombre y a 46 kilómetros de Cienfuegos y pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos.

La misión y visión estratégica de la UEB es producir azúcar Crudo con eficiencia y satisfacción de los requerimientos de los clientes del mercado nacional y exportable con un incremento progresivo en las ventas. La diversificación industrial alcanza el más alto nivel de su historia. Obtiene utilidades razonables para su patrimonio y el estatal. La preparación general y técnica de los trabajadores se ha elevado considerablemente y continúa en ascenso. La innovación forma parte de nuestra cultura productiva y de los trabajadores. Existe un clima personal y organizacional favorable con predominio de la cooperación mutua en función del interés general de la organización. Nuestro producto fundamental AZÚCAR está certificado. Dirigen la UEB cuadros muy capaces con liderazgo, altamente motivados y con un elevado nivel de gestión. Existe una estrategia ambiental la que permite y garantiza su inserción en el micro –macro entorno. En la figura 2.4 se muestra el diagrama de flujo general de la fábrica.



su molienda. También existen cinco molinos de 7 pies (2,13 m) de longitud de mazas donde se muele la caña.

Los equipos instalados en los molinos son motores eléctricos:

Tabla 2.1 Parámetros de los motores instalados en los molinos

Motores eléctricos	Potencia (kW)	Velocidad (1/s)
Molino 1 y 5	500	900
Molino 2,3,4	320	900

Fuente: Datos del central

Área de calderas

Esta área posee dos calderas alemanas de 25 t/h de vapor a una presión de 1,8 MPa y 320 °C de temperatura usando como combustible el bagazo, el cual consume una cantidad aproximada de 35 t/h. En el área existe una chimenea para las tres calderas. Para el almacenaje del bagazo se cuenta con una casa de bagazo, con una máquina para la retroalimentación.

Este central posee instalaciones en calderas con índices de generación de 2,15 t vapor por t bagazo y un índice de generación de 35,8 kWh por t caña en planta eléctrica; el consumo interno es de 0,0245 MWh por t caña y una entrega al SEN de 14,3 kWh por t caña.

Para el almacenaje del bagazo se cuenta con una casa de bagazo y la mesa alimentadora de bagazo.

Planta eléctrica.

La planta eléctrica cuenta con una subestación de entrada de 6,3 kV dotada con 2 transformadores de 1 600 kVA conectados en paralelo lo cual permite en las condiciones actuales el buen funcionamiento de la planta eléctrica, en lo que respecta a la entrega de energía eléctrica al SEN con los siguientes parámetros: Índice de generación 38,0 kWh/tonelada de caña molida y de entrega de 11,0 kWh/tonelada de caña molida.



2.3 Balance de masa y energía

Desarrollo de los Balances

La ejecución de los balances de masa y energía se realizaron según la metodología propuesta por (Espinosa, 1999, p. 37) y se complementan con una hoja de trabajo de EXCEL (Espinosa, N. & Peñalver, Y. 2012, p. 22) que posibilita el manejo de un importante número de variantes para distintos arreglos energéticos de la industria. Se han programado los cálculos para el análisis de diferentes condiciones operacionales.

Base de cálculo: caña molida 3334,4

Balance Total en los Molinos

Caña + Agua_(imb) = Bagazo + Jugo_(mez)

Cálculo de la cantidad de bagazo

$$\text{Bagazo \% caña} = \frac{\text{Bagazo}}{\text{caña}} * 100$$

$$\text{Masa de bagazo} = \frac{\text{bagazo \% caña} * \text{caña}}{100}$$

$$\text{Masa de bagazo} = \frac{32,97 * 3334,4\text{t}}{100}$$

$$\text{Masa de bagazo} = 1099,35 \frac{\text{t}}{\text{d}} = 45806,32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Cálculo de la cantidad de Jugo Mezclado:

$$\% \text{ Ext molinos} = \frac{\text{jugo de molinos}}{\text{caña}} * 100$$

$$\text{Jugo de molinos} = \frac{\% \text{ Ext molinos} * \text{caña}}{100}$$

$$\text{Jugo de molinos} = \frac{87,40 * 3334,4\text{t}}{100}$$

$$\text{Jugo de molinos} = 2914,27 \frac{\text{t}}{\text{d}} = 121427,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Cálculo de agua de imbibición:

$$\text{Agua de imbibición} = (\text{bagazo} + \text{jugo de molinos}) - \text{caña}$$

$$\text{Agua de imbibición} = (1099,35 + 2914,27) - 3334,4$$

$$\text{Agua de imbibición} = 679,22 \frac{\text{t}}{\text{d}} = 28300,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Balance Total en el tanque de Jugo Mezclado

$$\text{Jugo de los Filtros} = 15\% * \text{JM}$$

$$\text{Jugo de los Filtros} = 0,15 * 2914,27 \frac{\text{t}}{\text{d}}$$

$$\text{Jugo de los Filtros} = 437,14 \frac{\text{t}}{\text{d}} = 18214,17 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Balance de masa en el Clarificador

$$\text{Jugo que entra al clarificador} = \text{Jugo a calentadores } 2,3,4 + \text{Floculante}$$

$$\text{Jugo que entra al clarificador} = 3399,06 \text{ t} + 0,016 \text{ t}$$

$$\text{Jugo que entra al clarificador} = 3399,08 \frac{\text{t}}{\text{d}} = 141628,33 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Balance de masa en el Filtro

$$\text{lodo} = \text{cachaza} + \text{Jugo de los Filtros}$$

$$\text{lodo} = 125,71t + 437,14t$$

$$\text{lodo} = 562,85 \frac{t}{d} = 23452,08 \frac{kg}{h}$$

$$\text{Jugo que entra al clarificador} = \text{Jugo claro} + \text{lodo}$$

$$\text{Jugo claro} = \text{Jugo que entra al clarificador} - \text{lodo}$$

$$\text{Jugo claro} = 3399,08 \frac{t}{d} - 562,85 \frac{t}{d}$$

$$\text{Jugo claro} = 2836,23 \frac{t}{d} = 118176,23 \frac{kg}{h}$$

$$\text{Jugo claro} = \text{Jugo al Calentador 1}$$

Consumo de vapor de los Calentadores

Calentador 1: (Trabaja con vapor de escape de los turbogeneradores)

Cálculo de la capacidad calorífica (Cp.)

$$C_p = 1 - 0,0056 Bx_{J.Clarif}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 (14.26)$$

$$C_p = 0,92 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$$

$$G_{cal1} = \frac{Q}{\lambda_{liq \text{ sat}}}$$

$$G_{cal1} = \frac{S * C_p (t_f - t_i)}{\lambda_{liq \text{ sat}}}$$

$$G_{cal1} = \left(\frac{118176,23 * 0,92 (110 - 98)}{644} \right) * 1,05$$

$$G_{cal1} = 2126,34 \frac{kg \text{ H}_2\text{O}}{h}$$



Calentador 2:(Trabaja con agua caliente de los condensados)

$$C_p = 1 - 0,0056 Bx_{JM}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 (14,26)$$

$$C_p = 0,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Calentador 3:(Trabaja con vapor del Pre-evap)

$$G_{cal3} = \frac{Q}{\lambda_{vap}}$$

$$G_{cal3} = \frac{S * C_p (t_f - t_i) * X}{\lambda_{vap}}$$

$$G_{cal3} = \left(\frac{141627,48 * 0,92(98 - 50)}{639} \right) * 1,05$$

$$G_{cal3} = 10287,96 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 Bx_{JM}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 (14,26)$$

$$C_p = 0,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Calentador 4: (Trabaja con vapor de escape de los turbos)

$$G_{cal4} = \frac{Q}{\lambda_{vap}}$$

$$G_{cal4} = \frac{S * C_p (t_f - t_i) * X}{\lambda_{vap}}$$

$$G_{cal4} = \left(\frac{141627,48 * 0,92(104 - 98)}{641} \right) * 1,05$$

$$G_{cal4} = 1281,98 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 Bx_{JM}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 (14,26)$$

$$C_p = 0,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$



Balance Total en los Pre-evaporadores

Jugo clarificado = Vapor producido + Jugo salida del Pre - evap 2

Vapor producido = Jugo clarificado - Jugo salida del Pre - evap 2

$$\text{Vapor producido} = 118176,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 68215,16 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Vapor producido} = 49961,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Vapor producido = Extracción

Consumo de vapor de los Pre - Evaporadores.

$$C_p = 1 - 0,0056 Bx_{J, \text{Clarif}}$$

$$C_p = 1 - 0,0056 (14,35)$$

$$C_p = 0,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$G_{pre} = \left(\frac{S_{jugo} * C_p \text{ jugo} (t_{eb} - t_{alim})}{\lambda_{calandria}} + \frac{Ext * \lambda_{cuerpo}}{\lambda_{calandria}} \right) * x$$

$$G_{pre} = \left(\frac{118176,23 * 0,92(103 - 100)}{644} + \frac{49961,07 * 639}{644} \right) * 1,05$$

$$G_{pre} = 52583,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Consumo de vapor de las Necesidades Tecnológicas

$$G_{NT} = G_{\text{Pre-evap}} + G_{\text{Cal 1}} + G_{\text{Cal 4}}$$

$$G_{NT} = 52583,42 + 2126,34 + 1281,98$$

$$G_{NT} = 55991,74 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Consumo de vapor de los Turbogeneradores

$$N_t = \frac{i_0 - i_{2'}}{i_0 - i_2}$$

$$N_t = \frac{769 - 650}{769 - 615}$$

$$N_t = 0,773 * 100$$

$$N_t = 77,3 \%$$

Cálculo de H_0 (Diferencia de entalpía entre el vapor que entra a la turbina y el vapor después de la expansión ideal)

$$H_0 = \lambda e - \lambda \text{ ciclo adiabático ideal}$$

$$H_0 = 769 - 615$$

$$H_0 = 154$$

$$G_{turbo 1} = \frac{N * 860}{N_t * H_0 * N_{mec} * N_{elec} * N_{tubo}}$$

$$G_{turbo 1} = \frac{4000 * 860}{0,773 * 154 * 0,94 * 0,95 * 0,94}$$

$$G_{turbo 1} = 34437,54 \frac{kg}{h}$$

$$G_{turbo 2} = \frac{N * 860}{N_t * H_0 * N_{mec} * N_{elec} * N_{tubo}}$$

$$G_{turbo 2} = \frac{4000 * 860}{0,773 * 154 * 0,94 * 0,95 * 0,94}$$

$$G_{turbo 2} = 34437,54 \frac{kg}{h}$$



$$G_{turbos} = G_{turbo\ 1} + G_{turbo\ 2}$$

$$G_{turbos} = 34437,54 \frac{kg}{h} + 34437,54 \frac{kg}{h}$$

$$G_{turbos} = 68875,09 \frac{kg}{h}$$

$$G_{turbos} = G_{MP}$$

Electricidad Generada

$$\text{Electricidad Generada} = \frac{G_{Turbos}}{ICT}$$

$$\text{Electricidad Generada} = \frac{68875,09 \text{ kg vapor/h}}{8,61 \text{ Kg vapor/kw-h}}$$

$$\text{Electricidad Generada} = 7999,43 \text{ Kw}$$

Electricidad Consumida

$$\text{Electricidad Consumida} = CM * IGE$$

$$\text{Electricidad Consumida} = 138,93 \frac{t}{h} * 39,35 \frac{kW}{t}$$

$$\text{Electricidad Consumida} = 5467,68 \text{ kW/h}$$

Electricidad Entregada al SEN

$$\text{Electricidad Entregada} = EG - EC$$

$$\text{Electricidad Entregada} = 7999,43 - 5467,68$$

$$\text{Electricidad Entregada} = 2531,75 \text{ kW/h}$$

Consumo de vapor por la Válvula Reductora

El consumo de vapor por reductora es cero ya que en el balance se obtiene valor negativo.



Generación de vapor de la Caldera

$$G_{CAL} = (G_{MP} + G_{VR} + G_{otros}) * \text{pérdidas}$$

$$G_{CAL} = (68875,09 + 0,062 * G_{CAL}) * 1,1$$

$$0,932 * G_{CAL} = 1,1 * G_{MP}$$

$$G_{CAL} = \frac{1,1 * 68875,09}{0,932}$$

$$G_{CAL} = 81290,34 \frac{kg}{h}$$

Consumo de vapor de los Tachos

Para el consumo de vapor de los tachos se efectuaron los balances de masa para determinar la cantidad de agua evaporada del material inicial (pie de templa) y del material que se alimenta (meladura y miel) al seguir la metodología que propone (Espinosa, 1975, p. 67).

Consumo de vapor total de los Tachos

$$G_{total\ tachos} = G_{tacho1} + G_{tacho3} + G_{tacho4} + G_{tacho5} + G_{tacho6} + G_{tacho7} + G_{tacho8}$$

$$G_{total\ tachos} = 16660,26 + 12599,79 + 10543,84 + 12360,13 + 11045,93 + 10525,72 + 10371,17$$

$$G_{total\ tachos} = 84106,84 \frac{kg}{h}$$

Balance en la caldera (VCN)

$$VCN = 4250 - (4850 * W)$$

$$VCN = 4250 - (4850 * 0,497)$$

$$VCN = 1838,58$$

Valor calórico superior (VCS)

$$VCS = 4600 * (1 - W)$$

$$VCS = 4600 * (1 - 0,497)$$

$$VCS = 2312,88$$



Eficiencia total de la caldera (Ncald.)

$$N_{cald.} = \frac{Q_{recup.}}{VCS} * 100 = \frac{1323,30}{2312,88} * 100 = 57,21\%$$

Balance de Condensado

$$G_{a.tec} = G_{pre} + G_{cal1} + G_{cal2} + G_{cal3} + G_{cal4} + G_{Vaso1}$$

$$G_{a.tec} = 52583,42 + 2126,34 + 23431,73 + 10287,96 + 1281,98 + 9934,78$$

$$G_{a.tec} = 99646,21 \frac{kg}{h}$$

$$G_{a.tec.} = G_{a.cal} + G_{a.R}$$

$$G_{a.R} = 99646,21 - 81290,34$$

$$G_{a.R} = 18355,87 \frac{kg}{h}$$

$$\% \text{ rep} = \frac{G_{a.R}}{G_{a.cal}} * 100$$

$$\% \text{ rep} = \frac{18355,87}{81290,34} * 100$$

$$\% \text{ rep} = 22,58\%$$

Balance de Calor

$$Q_{cald} = G_{cald} * h_{0,vapor}$$

$$Q_{cald} = 81290,34 * 3215,46$$

$$Q_{cald} = 261386030,04 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{cald} = 72607,23 \frac{kJ}{s} = kW$$

$$Q_{NT} = G_{NT} * (h_1 - h_a)$$

$$Q_{NT} = 55991,74 * (2696,30 - 417,46)$$

$$Q_{NT} = 127596168,91 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{NT} = 35443,38 \frac{kJ}{s} = kW$$



$$Q_{Pot} = G_{MP} * (h_{e\ vapor} - h_{s\ vapor})$$

$$Q_{Pot} = 68875,09 * (3219,65 - 2683,5)$$

$$Q_{Pot} = 36927323,13 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{Pot} = 10257,59 \frac{kJ}{s} = kW$$

$$Q_{otros} = G_{otros} * h_{0,\ vapor}$$

$$Q_{otros} = 5527,74 * 2683,5$$

$$Q_{otros} = 14833698,57 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{otros} = 4120,47 \frac{kJ}{s} = kW$$

$$Q_{cond} = G_{a.\ tec} * h_{\ agua\ cond}$$

$$Q_{cond} = 99646,21 * 410,61$$

$$Q_{cond} = 40915729,39 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{cond} = 11365,48 \frac{kJ}{s} = kW$$

$$Q_{perd} = Q_{cald} - Q_{NT} - Q_{Pot} - Q_{otros} - Q_{cond}$$

$$Q_{perd} = 72607,23 - 35443,38 - 10257,59 - 4120,47 - 11365,48$$

$$Q_{perd} = 11420,31 \frac{kJ}{s} = kW$$

Bagazo quemado (Bq)

$$Bq = \frac{G_{cal} *}{IG}$$

$$Bq = \frac{81290,34}{2,02}$$

$$Bq = 40222,04 \frac{kg}{h} = 40,22 \frac{t}{h}$$

Bagazo Sobrante (Bs)

$$Bs = Mb - Bq$$

$$Bs = 45806,32 - 40222,04$$

$$Bs = 5584,28 \frac{kg}{h} = 5,58 \frac{t}{h}$$



Resumen de los balances

Tabla 2.2 Resumen de los balances de masa y energía según condiciones promedio de la zafra 2022-2023

Fuente: elaboración Propia

Balance de Masa			
Caña molida (t/h)	138,93	Masa Jugo Mezclado (t/h)	139,64
Bagazo % Caña	32,97	Masa Jugo Alcalizado (t/h)	141,63
Masa de bagazo (t/h)	45,81	Masa Jugo entrada Clarificador (t/h)	141,63
% extracción en los molinos	87,40	Masa de Lodo (t/h)	23,45
Masa de jugo en molinos (t/h)	121,43	Masa de Jugo Claro (t/h)	118,18
Agua de Imbibición (t/h)	28,30	Masa de Cal (t)	1,67
Masa Jugo en los filtros(t/h)	18,21	Masa de Lechada (t)	47,65
Balance de energía			
Consumo de vapor 1er Pre-evaporador (t/h)	89,54	Vapor generado en la Caldera t/h	81,29
Consumo de vapor 2do Pre-Evaporador (t/h)	62,22	IG (índice de generación) kgv/kg bag	2,02
Consumo total de los Pre-evaporadores (t/h)	49,96	η cal (Eficiencia total de las calderas) %	57,21
Consumo de vapor de tachos (t/h)	84,11	Bq (bagazo quemado) t/h	40,22
Consumo de vapor Calentador 1	2,13	Condensados(t/h)	99,65
Consumo de agua Calentador 2	23,43	Agua de reposición (t/h)	18,35
Consumo de vapor Calentador 3	10,29	% Reposición	22,58
Consumo de vapor Calentador 4	1,30	Electricidad Generada kWh/h	7999,43
Consumo de vapor turbogeneradores (t/h)	34,44	Electricidad Consumida kWh/h	5467,68
Consumo de vapor Necesidades Tecnológicas (t/h)	55,99	Electricidad Entregada al SEN kWh/h	2531,75
Consumo de vapor Válvula Reductora t/h	0,00	Electricidad Entregada al SEN kWh/d	60762
% Válvula Reductora	0,00		



2.4. Comparación en tres niveles de producción diferente

En las siguientes tablas se muestran los resultados de caña molida, azúcar producida, bagazo producido y sobrante de bagazo de la zafra 2022-2023 hasta el día 4 de marzo en tres niveles de producción y permiten analizar cuál es el nivel más productivo.

Tabla 2.3: Molida mayor que 2760 y menor que 3220.

Caña molida (t/d)	Azúcar producida (t/h)	Bagazo producido (t/d)	Sobrante de bagazo (t/d)
3151,30	232,85	1019,79	101,98
3159,80	300,00	1098,37	109,84
2836,10	179,25	945,80	94,52
2889,50	187,30	923,50	92,38
2976,60	348,10	997,60	99,78
2973,50	246,15	102,49	102,35
3199,80	274,76	1069,31	106,93
2831,90	289,20	863,53	86,35
3014,30	284,35	953,83	95,38
3037,20	248,95	1006,53	100,65
Prom: 3010,33	Prom: 272,35	Prom: 992,07	Prom: 99,02

Tabla 2.4: Molida mayor que 3220 y menor que 3450.

Caña molida (t/d)	Azúcar producida (t/h)	Bagazo producido (t/d)	Sobrante de bagazo (t/d)
3234,70	151,91	1067,92	106,79
3284,20	263,45	1048,96	104,89
3311,70	338,85	1113,44	111,34
3284,00	276,50	1048,00	104,80
3326,20	247,00	1117,29	111,73
3406,40	316,80	1126,88	112,69
3378,80	213,05	1128,81	112,88
3296,20	245,20	1113,45	111,35
3258,50	214,30	1060,55	106,06
3379,60	332,05	1020,75	102,08
3368,00	163,35	1119,57	111,96
3305,10	229,00	1063,03	106,30
Prom: 3327,16	Prom: 258,14	Prom: 1087,34	Prom: 108,96



Tabla 2.5: Molida mayor que 3450 y menor que 4600.

Caña molida (t/d)	Azúcar producida (t/h)	Bagazo producido (t/d)	Sobrante de bagazo (t/d)
3708,90	225,70	1172,09	117,21
4082,20	257,75	1303,90	130,39
3538,00	232,15	1150,96	115,10
4060,60	368,50	1299,60	129,96
3964,40	287,75	1292,61	129,26
3925,70	293,90	1318,39	131,84
3559,70	329,50	1190,80	119,08
3557,00	260,75	1184,42	118,44
3707,20	274,70	1306,21	130,62
4019,50	263,30	1358,93	135,89
4048,40	335,85	1377,88	137,79
4360,00	285,95	1493,00	149,30
3802,10	340,85	1275,82	127,58
4276,50	324,34	1509,56	150,96
3566,50	356,20	1215,55	121,56
3751,40	300,50	1281,67	128,17
4089,80	254,00	1397,47	139,75
3704,70	337,40	1238,34	123,83
3636,40	238,00	1246,01	124,60
3622,70	208,68	1232,93	123,39
3888,50	300,60	1293,98	129,40
3795,80	270,90	1201,82	120,18
4081,50	400,30	1259,57	125,96
3757,00	403,40	1190,66	119,07
4089,20	400,05	1324,77	132,48
3961,30	400,15	1275,41	127,54
3550,30	429,65	1170,29	117,03
3875,30	338,25	1274,74	127,47
3608,20	300,10	1151,86	115,19
Prom: 3847,89	Prom: 311,00	Prom: 1275,49	Prom: 126,81

Fuente de las Tablas: Partes diarios del laboratorio

El mejor nivel de operación en los cuatro rangos de comparación hasta el 4 de marzo de 2023 es el de mayor de 3450 (t/d) ya que se obtiene una mayor producción de azúcar y de bagazo, al igual que de bagazo sobrante y esto a su vez es un mayor ingreso económico a la unidad



empresarial azucarera. El bagazo sobrante es un renglón muy importante en la industria azucarera ya que una parte de este es almacenado en la casa de bagazo para ser utilizado como combustible en la generación de vapor. La otra parte de este bagazo puede ser utilizado como materia prima en la producción de papel o como alimento animal por su alto contenido de nutrientes.

Comparación del balance con los tres niveles de producción

Tabla 2.6 Resumen del balance.

Caña molida (t/h)	Azúcar producida(t/h)	Bagazo sobrante(t/h)
138,93	333,06	134,02

Tabla 2.7 Resumen del balance de las tres etapas de producción.

Caña molida (t/h)	Azúcar producida(t/h)	Bagazo sobrante(t/h)
134,17	321,64	93,36
143,75	344,61	169,18
191,67	458,48	551,29

Como se puede observar al aumentar la caña molida aumenta la azúcar producida y el bagazo sobrante, y hasta el cierre del 4 de marzo se ha molido 138,93 t/h lo que significa que se encuentra dentro del rango del 70 y 75 %.

Conclusiones parciales

1. La línea de base energética se constituye por algunos de los principales indicadores de desempeño energético que corresponde a la zafra 2022-2023 , entre ellos el consumo de la unidad empresarial azucarera, % caña molida, el bagazo sobrante, % bagazo disponible, la electricidad generada, el consumo eléctrico, el consumo de bagazo por electricidad producida y el consumo de agua.
2. El mejor nivel de operación en los cuatro rangos de comparación es el de mayor de 3450 (t/d) ya que se obtiene una mayor producción de azúcar y de bagazo, al igual que de bagazo sobrante y esto a su vez es un mayor ingreso económico a la unidad empresarial azucare

A stylized illustration of a rolled-up scroll. The scroll is white with a dark grey shadow on the right side, suggesting it is being unrolled. The text 'Capítulo III' is written in a black, elegant serif font on the surface of the scroll. The scroll is positioned diagonally from the bottom left towards the top right.

Capítulo III



CAPÍTULO III: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

3.1 Análisis de los resultados del balance

Para las condiciones promedio de la zafra 2022-2023 hasta el día 4 de marzo se molieron 138,93 t/h de caña, necesitándose 28,30 t/h de agua de imbibición para lograr un 87.40 % de extracción de jugos en los molinos, obteniéndose así 121,43 t/h de jugo en los molinos y 45,81 t/h de bagazo, este último es el combustible utilizado en la generación de vapor. Las dos calderas generan alrededor de 81,29 t/h de vapor, con un índice de generación de 2,02 kg vapor/ kg bagazo y una eficiencia del 57,21 %. El bagazo que se produce es utilizado como combustible en la caldera quemándose a razón de 40,22 t/h y sobra un 5,58 t/h de bagazo. El consumo de vapor por reductora es cero ya que el sistema se encuentra balanceado. Los condensados recuperados para su posterior utilización en la caldera son de 99,65 t/h necesitándose 18,35 t/h de agua de reposición lo cual representa un 22,58 % lejano al rango de literatura 10-15 % (Espinosa, 1990, p. 54), lo que significa que se derrocha mucha agua en el proceso. Los turbogeneradores consumen 68,85 t/h de vapor y generan 7999,43 kWh/h de energía eléctrica, consumiéndose por la unidad empresarial azucarera 5 467,68 kWh/h y entrega al Sistema Energético Nacional 2 531,75 kWh/h.

3.2 Propuesta de inversiones para las mejoras tecnológicas

En la unidad empresarial azucarera se estudia la variante de lograr un aumento de producción, la cual no ha sido posible ya que en la misma persisten las siguientes dificultades en la industria según diagnóstico: De modo general:

1. Equipamiento obsoleto y en mal estado técnico.
2. Área energética limitada a molida actual de 4600 t caña por día
3. Mala aplicación de la ingeniería del mantenimiento.



4. Carencia de partes y piezas que prolongan el tiempo fuera de servicio de los equipos (Rico, 2016, p. 42).

Para lograr una mejor producción es necesario:

Alcanzar un excelente estado de los equipos y accesorios por lo tanto se desea darle mantenimiento programado a los molinos para aumentar la molida con la instalación de 1 bomba de 350 m³/h y a su vez instalar un clarificador de 600 m³ ya que aumenta la capacidad de molida,

Agregar 3 calentadores de 200 m² y 3 pre- evaporadores de 3 000 m² de área,

Instalar una caldera de 220 t/h y 6,7 MPa para generar más vapor para los turbos y a su vez montar otro de este ya que con el aumento de molida aumenta el consumo de vapor de las necesidades tecnológicas, con la instalación de la caldera es importante aumentar la capacidad de agua en la fábrica.

Rehabilitar los 2 turbos-generadores de 4 MW existentes en el sistema.

En la siguiente tabla se muestra las inversiones para una molida de 4 600 toneladas de caña con acciones de 3 años.

Tabla 3.1: Inversiones propuestas en la unidad empresarial azucarera. Fuente (Rico, 2016).

Área de operación	Equipamientos	Fase1-Hasta 4 600 t/d Acciones 3 años
Recepción de la caña	Desfibrador	Instalar un desfibrador Vertical 90
	Romanas de caña	Instalar romanas de caña y Sonda Oblicua
Molinos	Molinos	Instalar accesorios
	Esteras e/ Molinos	Instalar esteras de arrastre
	Electro imán	Instalar Electro imán
	Tamiz de caldo	Cambiar tamiz de jugo 500 m ³ /h



	Bombeo	Instalar 1 bomba de 350 m ³ /h
Clarificación del jugo	Intercambiadores de calor	Instalar 3 intercambiadores de calor de 200 m ²
	Calentadores de jugo	Instalar 1 calentador de 300 m ²
	Clarificadores	Instalar 1 clarificador 600 m ³
	Tamiz de jugo clarificado	Instalar 3 tamiz de jugo clarificado Mecat de 300 m ³ /h
	Filtro de cachaza	Instalar 1 Filtro Belt Press modelo 7200
Evaporación	Calentador de jugo clarificado	Instalar 3 calentadores de 200 m ²
	Transportación de azúcar	Sustituir transportadores de azúcar
	Pre-evaporadores	Instalar 3 Pre-Evaporadores de 3 000 m ²
Fábrica de azúcar	Centrifuga de Masa A	Instalar 2 centrifugas de 1500 kg
	Centrifuga de Masa B	Instalar 2 centrifugas de 4 t/h continua de Masa B y C
	Centrifuga de Masa C	
	Tacho Masa A	Pasar Tachos B y C para A
	Tacho Masa B	Instalar tacho continuo para masa B
	Tacho Masa C	Instalar tacho continuo para masa C
Generación de vapor	Caldera	Instalar 1 caldera de 220 t/h y 6,7 MPa
	Tratamiento de agua	Aumentar la capacidad
Generación eléctrica	Generador de energía	Rehabilitar los 2 turbos-generadores de 4 MW
	PGD 13,8 KV	Instalar nueva PGD

Calderas de 220 t/h y 6,7 MPa

Con el montaje de la caldera se obtiene:

- Mayor entrega de vapor a los turbogeneradores.
- Mayor entrada de agua al sistema.



Clarificador de 600 m³ de volumen

La construcción del clarificador logra un:

- Aumento de la capacidad de molienda de la fábrica.
- Aumento de la eficiencia en la clarificación de los jugos ya que disminuye la revoltura.
- Aumento de la calidad del producto final (azúcar).

Calentador de 200 m²

Con la instalación de 3 calentadores:

- Se obtiene un mejor producto o meladura por una mejor extracción del contenido de agua.
- Se puede evaporar una mayor cantidad de jugo.

Pre-evaporadores de 3 000 m²

Con la instalación de 3 pre-evaporadores se logra:

- Mayor entrega de vapor vegetal a los tachos.
- Mayor entrega de vapor a los calentadores.

Turbogenerador

Con la rehabilitación de los turbos-generadores de 4 MW se logra:

- Mayor generación eléctrica.
- Aumento de electricidad entregada al Sistema Energético Nacional (SEN).
- Aumento de la capacidad de molienda de la fábrica azucarera.

3.3 Evaluación económica de la UEB central azucarero “Ciudad Caracas”

Para el análisis económico se tendrá en cuenta los argumentos y métodos de (Peters, 1980, p. 12), al tener en cuenta los datos reales de los balances de masa y energía en la UEB central azucarero “Ciudad Caracas”. Esta es elaborada según las normas establecidas por el organismo



competente (Cuba: Ministerio de Economía y Planificación), con el máximo rigor técnico y económico, de forma tal que el presupuesto de la inversión y el resto de los supuestos asumidos, muestren desviaciones mínimas durante la fase de inversión y posterior explotación. Constituye una valiosa herramienta a utilizar por los diferentes sujetos del proceso inversionista (González, 2015, p. 48).

Tabla 3.2 Parámetros Económicos a controlar durante la evaluación económica. Fuente Elaboración Propia.

Parámetros Económicos
Tasa Interna de retorno requerida (TIR)
Valor Actual Neto (VAN)
Período de Recuperación de la Inversión (PRI)
Índice de rentabilidad
Punto de Equilibrio (unidades físicas)
Punto de Equilibrio (% Producción)
Costo Operación /Ingreso
Costo Total/Ingreso

Dos parámetros muy usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Ambos conceptos trabajan con variables esenciales que conforman el presupuesto de capital, son ellos, los flujos de caja, el desembolso inicial, el plazo de vida útil del proyecto y el costo de oportunidad de capital (simplificado, ingresos menos gastos netos).

El Valor Presente Neto debe aceptarse si es igual o superior a cero y se define como la diferencia entre todos los ingresos e ingresos expresados en moneda actual.

$VAN < 0$ RECHAZO

$VAN \geq 0$ ACEPTACIÓN

Debe tener presente que el cálculo del punto de equilibrio está dirigido a conocer el número de unidades a vender para que la empresa ni gane ni pierda. Por tanto a partir de ese valor se obtienen ganancias y por debajo se pierde.



La TIR es un indicador de la rentabilidad de una inversión mientras mayor sea el valor, mayor es la rentabilidad.

K: Tasa de actualización o de descuento. Debe ser superior cercana al interés del préstamo bancario.

El criterio de decisión respecto a este indicador es el siguiente:

- Si la $TIR > K$ Se aceptará el proyecto.
- Si $TIR < K$ Se rechazará el proyecto.

El RVAN o Índice de rentabilidad o Razón Beneficio - Costo es la relación del VAN/ Valor de la inversión (González, 2009, p. 57), expresa cuanto se obtiene por cada peso invertido en el período analizado, y es una de las principales técnica dinámica de presupuestación.

Para calcular estos indicadores económicos se utilizó un juego de libros de Excel ya programados, elaborados por (González, 2009) donde para ellos se necesita conocer como primer requisito las inversiones de dicho proyecto.

Tabla 3.3 Presupuesto para la inversión. Fuente: (UEB “Ciudad Caracas”, 2024)

Inversiones	Miles \$	Año 1
Recepción de la caña	465,10	465,10
Molinos	435,20	435,20
Clarificación del jugo	396,30	396,30
Evaporación	367,30	367,30
Fábrica de azúcar	354,60	354,60
Generación de vapor	2 600,20	2 600,20
Generación eléctrica	4 851,30	4 851,30
Total	9 470,00	9 470,00

El presupuesto de la inversión es de 9 470 000 en moneda nacional equivalente a la suma del plan de inversión de las mejoras tecnológicas propuestas anteriormente en moneda nacional.



Tabla 3.4 Información Básica. Fuente: (UEB “Ciudad Caracas”, 2024)

Concepto / año	UM	2024	2025	2026-2029	Referencia
Caña a moler	Mt	356,50	370,80	370,80	Caña
Capacidad Potencial	t/d	4600	4600	4600	4600
Capacidad Operacional	t/d	3910,00	3910,00	3910,00	2541,00
Aprovechamiento	%	85,00	85,00	85,00	85,00
Días de Zafra	días	91,20	94,80	94,80	
Índice de Miel Final	t/t caña	0,06	0,025	0,06	0,03
Miel Final Producida	T	8914,50	9271,10	9271,10	
Rendimiento	%	10,70	10,70	10,70	11,5
Azúcar Comercial	Mt	38,19	39,72	39,72	
Bagazo	Mt	110,54	114,96	114,96	0,31*caña
Cachaza	Mt	12,12	12,61	12,61	0,034*caña
Miel Urea Bagacillo	T	1459,00	1518,00	1518,00	16 t/día

Tabla 3.5 Datos complementarios para la evaluación económica.

Caña	
Área, ha	10500
Rendimiento, t/ha	42,45
Caña total, Mt	445,73
% Molible	80
Caña a zafra, Mt	357

Tabla 3.6 Costos. Fuente: (UEB “Ciudad Caracas”, 2024)

Años	Costos Totales en Miles de pesos			
	2024	2025	2026	2027-2029
Azúcar, Miles t	38,19	39,717	39,717	39,717
Elementos				
Costos Variables	35551,50	34193,40	34193,40	34193,40
Caña	25019,10	26019,80	26019,80	26019,80
Otros Materiales	8989,44	6568,81	6568,81	6568,81
Combustible	6,30	6,55	6,55	6,55
Energía	483,52	502,86	502,86	502,86
Otros gastos monetarios	1053,16	1095,28	1095,28	1095,28
Transporte de caña	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros servicios	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos Fijos	9467,92	9846,60	9846,60	9846,60
Salario y Seguridad Social	2554,97	2657,17	2657,17	2657,17
Amortización de Activos Fijos	1135,49	1180,91	1180,91	1180,91
Industria	1736,04	1736,04	1736,04	1736,04



Amortización Cargos Diferidos	3000,68	3120,71	3120,71	3120,71
Industria	3000,68	3120,71	3120,71	3120,71
Rep. Y Mantenimiento zafra	638,53	664,07	664,07	664,07
Administración industrial	463,36	481,89	481,89	481,89
Cargos diferidos	0,00	0,00	0,00	0,00
Gastos Generales y de Administración	1482,91	1542,22	1542,22	1542,22
Cargos diferidos	0,00	0,00	0,00	0,00
Gastos Distribución y venta	191,98	199,66	199,66	199,66
Costo Total Bruto	45 019,50	44040,00	44 040,00	44 040,00
Unitario total	1178,84	1108,84	1108,84	1108,84
Costo variable unitario	930,92	860,92	860,92	860,92

En la tabla se muestra los costos totales de producción en miles de pesos. El costo variable es de 35 551 500 mientras que el costo fijo es 9 467 920 mientras que el costo total bruto es la suma de los dos 45 019 500. El costo variable unitario se define como la relación entre costos variable y la azúcar en miles de toneladas y da un valor de 930 920.

Tabla 3.7 Proyección de producción e ingresos por ventas de la UEB. Fuente: (González, 2015)

Concepto/ Años	2024	2025	2026	2027-2029
Azúcar de calidad Comercial Mt	38,19	38,19	39,72	39,72
Precio en USD Minaz USD/ t	61,20	61,20	61,20	61,20
Precio en Cup Cup/ t	1251,60	1251,60	1251,60	1251,60
Miel C Mt	8,96	8,92	9,27	9,27
Precio en Cup Cup/ t	80,00	80,00	80,00	80,00
Cachaza Mt	12,12	12,12	12,61	12,61
Precio en Cup Cup/ t	2,00	2,00	2,00	2,00
Electricidad a la red MWh	3502	3502	3642	3642
Precio en Cup Pesos/kWh	0,14	0,14	0,14	0,14
Miel Urea bagacillo, Mt	1,46	1,52	1,52	1,52
Precio en Cup Pesos/t	50,00	50,00	50,00	50,00
Miel final a Destilería, Mt	0	0	0	0
Precio en USD USD/ t	80,00	80,00	80,00	80,00
Vapor a la Destilería Mt	0,00	0,00	0,00	0,00
Precio en USD USD/ t	6,70	6,70	6,70	6,70



Total ingreso mUSD	0	0	0	0
Total ingreso mUSD Minaz	2337,21	2337,21	2430,70	2430,70
Total ingreso Divisa mUSD	2337,21	2337,21	2430,70	2430,70
Total ingreso mCup	46759,50	46762,50	48629,90	48629,90
INGRESO MONEDA TOTAL	49096,70	49099,70	51060,60	51060,60
Precio promedio Moneda total, \$/t	1285,60	1285,68	1285,60	1285,60

La tabla muestra la proyección de producción e ingresos por ventas de la UEB. El ingreso total está dado por la suma de los ingresos en moneda nacional más los ingresos en divisa con un valor de 49 096 700 para el año 2024 y 49 099 700 a partir del 2025.

Tabla 3.8 Resumen de la Evaluación Económica zafra 2023. Productos: Azúcar con alta Pol, miel C a destilería y entrega de energía eléctrica al SEN. Fuente:(Elaboración propia)

Productos: Azúcar Alta pol, Miel C a destilería y Entrega EE a la red nacional				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4 al 10
Proyección de Producción, Mt	38,19	38,19	39,72	39,72
Precios Moneda Total, \$/t	1251,60	1251,60	1251,60	1251,60
Precio USD/t	61	61	61	61
Electricidad a RED, MWh	3502	3502	3642	3642
Precio Electricidad, \$/kWh	0,14	0,14	0,14	0,14
MIEL C a destilería, Mt	8,92	8,92	9,27	9,27
Precio Miel C USD/t	80,00	80,00	80,00	80,00
Costo Unitario Moneda Total	1108,84	1108,84	1108,84	1108,84
Precio promedio, \$/t	1285,60	1285,68	1285,60	1285,60

Se requiere un crédito de \$9 470 000 con un interés de 10 % y se repaga en 5 años con 1 año de gracia.



Tabla 3.9 Parámetros económicos. Fuente:(Elaboración propia)

Parámetros Económicos	Moneda Total
	Inversión Total
TIR , %	35,0
VAN al 12%, Miles\$	12 767,700
RVAN \$/\$	1,35
Período de Recuperación de la Inversión. (Años)	4,36
Punto de Equilibrio (Toneladas de Producción)	20 265,400
Punto de Equilibrio (% Producción)	51,0
Costo Operacional / Ingresos	0,90
Costo Total / Ingresos	0,92

Como se puede apreciar en la tabla la propuesta de inversión en la UEB central azucarero “Ciudad Caracas” es económicamente factible:

El valor adicional obtenido después de recuperado el valor de la inversión realizada, garantiza una tasa mínima de rentabilidad sobre la inversión, con un incremento de un 12% en la ficha de costo (VAN) =12 767 700 >0 por lo que el proyecto es factible, igualmente un RVAN = 1,35.

La rentabilidad anual de la inversión o rentabilidad sobre la inversión viva de cada año (TIR) = 35,0 % >K=12 por lo que el proyecto es factible.

El período de recuperación de la inversión (PRI) = 4,36 años con un punto de equilibrio de 20 265 400 toneladas de producción, lo que representa un 51,0 % de la producción por años respectivamente.

Un costo de operaciones por pesos de ingreso es 0,90 y un costo total por pesos de ingreso de 0,92 respectivamente.



Conclusiones parciales

1. El estudio realizado permite identificar, medir y analizar el riesgo inherente que se encuentra en el entorno del sector azucarero, con lo que se evidencia la importancia de la aplicabilidad de las herramientas para el buen manejo de eventos que pueden llegar a impactar la toma de decisiones en la UEB.
2. A partir de los resultados alcanzados en el BME y del diagnóstico energético se logra identificar las principales dificultades y a su vez proponer alternativas tecnológicas que permitan alcanzar mejoras en el proceso productivo.
3. Los cálculos de los indicadores económicos arrojan que la propuesta de inversión en la UEB central azucarero “Ciudad Caracas” resulta económicamente factible, siendo el presupuesto necesario para la inversión de 9 470 000 en CUP, una TIR de 35 % y se estima que se recupere la inversión en aproximadamente 4 años.



Conclusiones



CONCLUSIONES

1. La actualización de los BME posibilita a la UEB el manejo de un importante número de variantes para distintos arreglos energéticos.
2. Las principales variables operacionales del proceso que influyen directamente en los resultados del BME son °Brix del jugo mezclado, °Brix de la meladura, % de extracción molinos, bagazo % caña, entre otras ya que son un puntal de eficiencia en el proceso.
3. Como principales alternativas se proponen agregar 3 calentadores de 200 m² y 3 pre- evaporadores de 3 000 m² de área, instalar una caldera de 220 t/h y 6,7 MPa para generar más vapor para los turbos y rehabilitar los 2 turbos-generadores de 4 MW existentes en el sistema.
4. El análisis económico de las alternativas tecnológicas determinó que la inversión resulta económicamente factible siendo el presupuesto necesario para la misma de 9 470 000 CUP, y se estima que se recupere en aproximadamente 4 años.

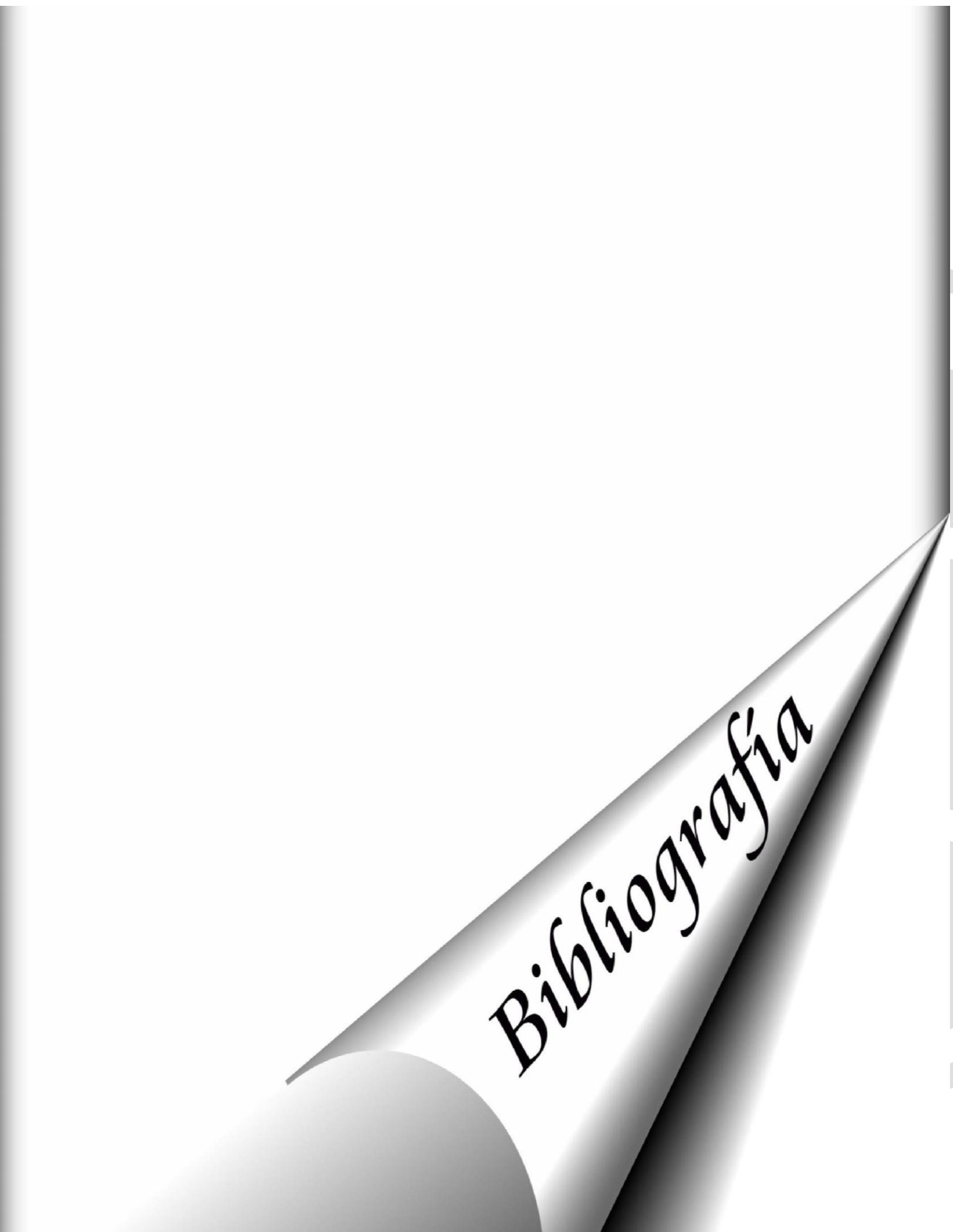
A 3D rendering of a white pen, angled diagonally from the bottom left towards the top right. The pen has a white body and a white cap. The word "Recomendaciones" is written on the side of the pen in a black, serif font. The lighting creates soft shadows and highlights on the pen's surface, giving it a realistic appearance.

Recomendaciones



RECOMENDACIONES

1. Programar cursos de capacitación a obreros y técnicos a cerca de las condiciones de operación de los equipos propuestos.
2. Llevar un control más detallado de las principales variables del proceso.
3. Proponer un sistema de recuperación de condensados más eficiente que el actual.
4. Continuar los estudios sobre el tema que aporten mejoras técnico-económicas en la UEB azucarera.

A stylized graphic of a rolled-up scroll, rendered in grayscale. The scroll is unrolled from the bottom left towards the top right, creating a perspective effect. The word "Bibliografía" is written across the unrolled portion in a black, elegant cursive script. The background is plain white, and the scroll itself has a subtle gradient and shadow to give it a three-dimensional appearance.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- Alba, G. (2017). *Steam boiler prices*. Available: <http://www.alibaba.com>
- Alonso A. (2017). *Estrategia ambiental para mitigar el impacto negativo generado por un central azucarero*. <http://www.monografias.com/usuario/perfiles>
- Alomá, M. (2013). *Perfectibilidad técnico-económica para la generación de energía eléctrica en el Central Antonio Sánchez*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- Alzate, K; Santiago, T. I. (2015) *Identificación y medición de riesgos para el sector azucarero en Colombia*, Universidad EAFIT. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8009/Katherine_AlzateCifuentes_IvanAndres_Santiago_2015.pdf?sequence=2
- AZCUBA (2019). *Manuales de documentación técnica*. Científico Técnica.
- Blanco S, Bonilla E, Ramírez C. (2009) *Diseño de un sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional (SGSSO) para ingenios azucareros en el salvador con base a las Normas OHSAS 18001- 2007*. (Tesis de grado). Universidad de El Salvador.
- Borroto, A. E. (2006). *Gestión Energética Empresarial, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente*. Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Cáceres R. (2010) *Diagnóstico y evaluación de riesgos en las áreas de envase de azúcar, trapiches y calderas del ingenio azucarero San Carlos*. (Tesis de grado). Universidad Estatal de Milagro.
- Casanova, E. (2012). *Eficiencia agroindustrial azucarera*. Científico Técnica
- Catá, Y. (2016). *Análisis Complejo de Procesos para lograr un mejor uso de la energía térmica en una fábrica de azúcar*. Científico Técnica



Cenicaña (2013). *Efecto de la materia extraña en la calidad de la caña*. Científico Técnica

CNEE. (2010). *Diagnósticos energéticos*. FIDE. Available: www.cnee.gob.gt.

Conde (2011). *Propuesta de Mejora al Proceso de Generación Eléctrica en la Empresa Azucarera "5 de Septiembre"*. (Trabajo de Diploma). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.

Curbelo, A. (2018). *Generación de electricidad a partir del bagazo en Cuba*. Científico Técnica

Diez, F. G. (2012). *Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante? Dos casos de estudio*. Científico Técnica

Espinosa, R. (1975). *Fabricación de azúcar crudo*. Científico Técnica.

Espinosa, R. (1999). *Sistemas de utilización del calor en la industria azucarera*, Ediciones ENPES.

Espinosa, R. (2014). *Gestión Energética Eficiente y Análisis de los Sistemas Auxiliares en las Plantas Químicas*, Samuel Feijóo.

Espinosa, R. (2016). *Algunos índices usados en la producción del azúcar de caña*. Universidad Marta Abreu.

EGRANCONEL. (2006). *Optimizar la eficiencia energética en la industria del ecuador*.

www.Egranconel.com.

<http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/310/4/DIAGNOSTICO%20Y%20EVALUACION%20DE%20RIESGOS%20EN%20LAS%20C3%81REAS%20DE%20ENVASE%20DE%20AZ%20ACAR%20TRAPICHES%20Y%20CARNALDERAS%20DEL%20INGENIO%20AZUCARERO%20SAN%20CARLOS..pdf>



- Fernández, A. F. (2013) *Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológicas para biorefinerías en una industria de la caña de azúcar*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- González, M. (2015). *Procedimiento para estudios previos inversionistas en la industria de procesos químicos y fermentativos*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- González, M. (2015). *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes*, New York.
- Gutiérrez, M. (2013). *Análisis energético y exergético de esquemas de cogeneración para la industria azucarera*. ICIDCA.
- Herrick R. (2004) *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Hugot, E. (1980). *Manual para Ingenieros Azucareros*. Pueblo y Educación.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. Continental.
- Martínez, A. (2019). *Propuesta de un Sistema de Limpieza de las Emisiones Generadas por un Ingenio Azucarero*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- MINAZ (1998). *Estudio del consumo de agua*. MINAZ.
- Muiño, J. (2010). *Propuestas de Mejoras al Proceso de Generación Eléctrica en la EES "5 de septiembre"*. (Trabajo de Diploma). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Peña, M. (2017). *Propagación In vitro de la caña de azúcar*. Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Peñalver & Espinosa (2012). *Balance Energético en la Empresa Azucarera Antonio Sánchez para reducir consumos y aumentar el sobrante de bagazo*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.



- Pérez, R. (2015). *Consideraciones medioambientalistas de la gasificación de biomasa cañera en un central azucarero*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- Peters, H. (1980). *Sistema Termo Azúcar*. Universidad de Ciencias Informáticas.
- Rein, P. (2017). *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. MINAZ
- Reyes, J. P. (2013). *La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- Rico, R. (2016). *Organización de la Zafra azucarera en función del rendimiento y la eficiencia energética. Empresa Azucarera Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Rodellar A. (1998) *Seguridad e higiene en el trabajo*. 1a Ed. Marcombo S. A.
- Rodríguez (1997). *Manual de cálculo rápido para la industria azucarera*. Ministerio de Economía y Planificación
- Rubio, A. (2014). *Generadores de Vapor. Funcionamiento y explotación*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- Sáenz. (2009). *Caracterización de las principales etapas de desarrollo del sector azucarero de Cuba*. Científico Técnica.
- Salgado, C. (2006). *Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria azucarera y sus derivados*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.
- Salomón, R. (2016). *“Bioeléctricas despiertan creciente interés mundial”*. MINAZ
- Sánchez, A. (2015). *Balance Energético en el Central Azucarero 14 de Julio para reducir*



consumos y aumentar la eficiencia del ciclo productivo. (Trabajo de Diploma).
Universidad Carlos Rafael Rodríguez.

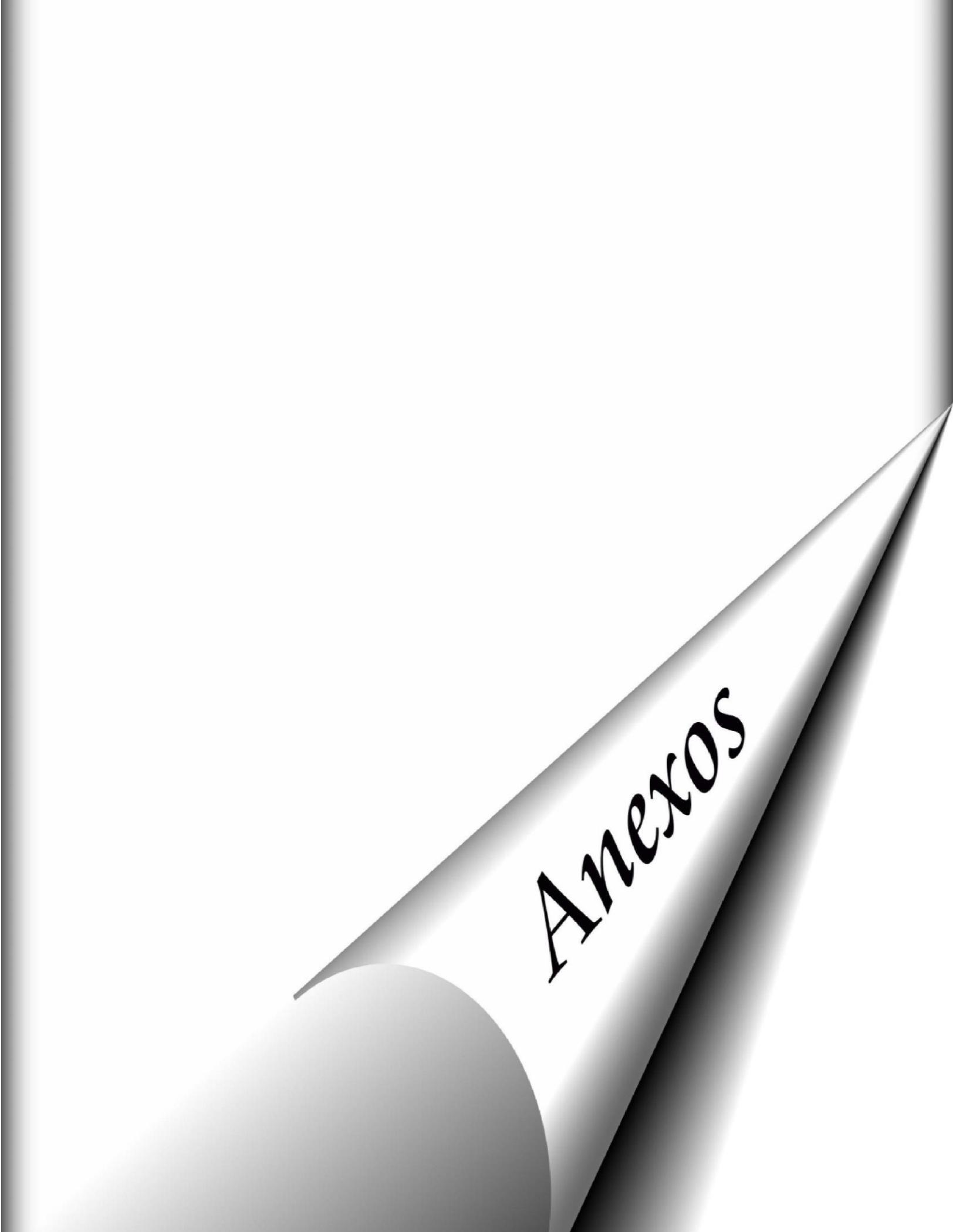
Sardiñas, G. (2016). *Dirección de economía de la UEB “5 de Septiembre”*. Cienfuegos.

Seijas, M. (2015). *Generalidades de la azúcar crudo*. Pueblo y Educación.

Verguizas M., Van Wendel, J. B., Rojas, M. (2017) *Metodologías participativas. Prevención de riesgos laborales en la agroindustria de la caña de azúcar*. Universidad Nacional (IRET-UNA). <http://www.iret.una.ac.cr/Publicaciones/04-0011.pdf>

Villegas, P. J. (2018). *Aprovechamiento de residuos fibrosos de la industria azucarera mediante procesos de conversión térmica*. (Trabajo de Diploma). Universidad Marta Abreu.

Watson, A. M. (2018). *Agricultural innovation in the early Islamic world*. Cambridge.

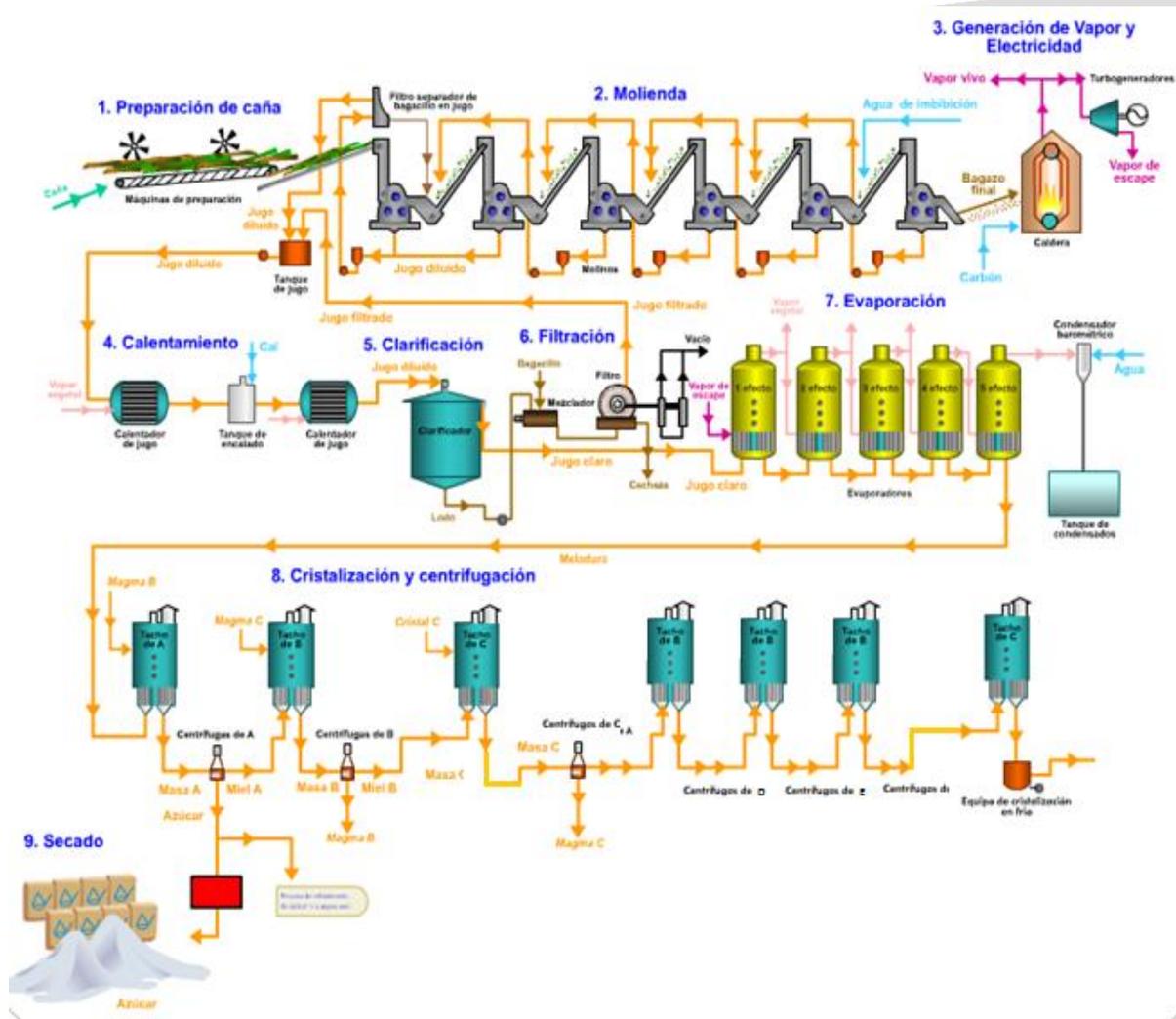


Anexos



ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo general del proceso de producción de azúcar crudo.





Anexo 2: Generadores eléctricos de la UEB central azucarero “Ciudad Caracas”.

