UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FQF
Facultad de
Química y Farmacia

TRABAJO DE DIPLOMA

Análisis del uso de energía en el central azucarero Uruguay

Autor: Cesar David Echemendia Linares

Tutor: Ing. Eliani Sosa Gómez

Dr. C. Juan Pedro Hernández Touset

Ing. Lázaro Mirabal Rodríguez

Santa Clara Curso: 2020-2021

Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FQF
Facultad de
Química y Farmacia

DIPLOMA THESIS

Análisis of energy use in the Uruguay sugar mill.

Author: Cesar David Echemendia Linares

Tutor: Ing. Eliani Sosa Gómez

Dr. C. Juan Pedro Hernández Touset

Ing. Lázaro Mirabal Rodríguez

Santa Clara

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual

Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

"La vida es una reacción química que solo requiere de equilibrio"

Priyavrat Gupta

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre pues sin ella no hubiese podido llegar hasta aquí. Tu tutela me ha guiado siempre por el buen camino. Por eso te doy este trabajo en ofrenda por tu paciencia, dedicación y amor, te amo.

Agradecimientos

Al concluir esta maravillosa etapa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron apoyo y inspiración esta mención es para.

Mis tutores por el apoyo, paciencia y preocupación bridado en todo momento.

A mi madre por siempre creer en mí y ser mi mayor guía.

A mi hermano por ser un pilar que me permite siempre salir adelante.

A mis abuelos por todo el cariño brindado y por soportar mis pesadeces.

A mis tíos por ser tan buenos concejeros tanto en buenos como malos momentos.

A mi novia por todo el amor dado.

A mis amigos que al igual que la familia siempre están ahí para mí.

A todos ustedes Gracias.

Resumen

La identificación de las áreas de mayores consumos energéticos, de gastos de recursos energéticos asociados a las pérdidas del calor y la determinación de los indicadores de desempeño energético en la industria azucarera, contribuyen a establecer un plan de mejoras tecnológicas para el incremento de la eficiencia y sostenibilidad de la industria. El objetivo es evaluar el sistema energético, mediante la aplicación de sistemas de gestión de la energía. Sustentado en la norma cubana ISO 50001 se aplica un procedimiento mejorado de análisis de la energía que incluye la metodología general del balance termoenergético en procesos de producción de azúcar. Los indicadores de desempeño energético propuestos contribuyen a un mejor control del proceso y al establecimiento de una línea base energética, no definida actualmente. Hay un uso inapropiado de la energía del vapor, dado que el consumo de vapor requerido por el proceso es solo el 65,8% de la capacidad de generación de vapor instalada. Existe un comportamiento inestable de la molienda, producción de azúcar, la generación y el consumo de electricidad durante todo el período de zafra, lo cual dificulta la adopción de indicadores de desempeño energético para una línea base energética. Se estima un ahorro potencial anual de recursos energéticos con un valor de 2 041 555 CUP que permite evaluar la factibilidad de proyectos de inversión en mejoras en el uso de la energía.

Abstract

The identification of the areas with the highest energy consumption, energy resource expenditures associated with heat losses, and the determination of energy performance indicators in the sugar industry, contributes to establishing a plan for technological improvements, for increased efficiency and sustainability of the industry. The objective is to evaluate the energy system, through the application of energy management systems. Based on the Cuban standard ISO 50001, an improved energy analysis procedure is applied that includes the general methodology of thermoenergetic balance in sugar production processes. The proposed energy performance indicators contribute to better control of the process and the establishment of an energy baseline, not currently defined. There is an inappropriate use of steam energy, since the steam consumption required by the process is only 65.8% of the installed steam generation capacity. There is an unstable behavior of milling, sugar production, electricity generation and consumption throughout the harvest period, which makes it difficult to adopt energy performance indicators for an energy baseline. A potential annual saving of energy resources is estimated with a value of 2 041 555 CUP that allows evaluating the feasibility of investment projects in improvements in the use of energy.

Índice

Resumen iv

Capítulo I: Revisión Bibliográfica 3

1.1 Generalidades sobre el proceso de producción de azúcar crudo 3

1.1.1 La caña de azúcar 3

1.1.2 Subproductos derivados de la caña de azúcar 4

1.2 Gestión energética 4

1.2.1 Sistema de Gestión de la Energía (SGE). Norma Cubana 5

1.2.2 Elementos de un Sistema de Gestión de la Energía 6

1.2.3 Herramientas que se utilizan para establecer un Sistema de Gestión Energética 7

1.3 Diagnóstico Energético 8

1.3.1 Características del Diagnóstico Energético 8

1.4 Cogeneración 10

1.4.1 Cogeneración en la industria azucarera 10

1.4.2 Sistemas de cogeneración 11

1.4.3 Definición del nivel de cogeneración 11

1.4.4 Algunos índices usados en centrales azucareros 12

1.4.5 Herramientas para determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración 16

1.5 Aguas y sistemas de condensados 17

Conclusiones parciales 19

Capítulo II: Procedimiento de análisis energético. 21

2.1Términos y definiciones de equipos generadores y consumidores de vapor en el central azucarero. 24

2.2 Metodología general del balance termoenergético. 26

Conclusiones Parciales: 27

Capítulo III. Evaluación del uso de la energía en el central azucarero. 28

3.1 Breve descripción de la Empresa azucarera Uruguay..... 28

3.2 Descripción del proceso de fabricación..... 29

3.3 Descripción del sistema energético. 31

3.4 Registro y análisis de los consumos actuales..... 33

3.5 Determinación del desempeño energético actual..... 34

3.6 Establecimiento de indicadores para el monitoreo y medición del desempeño energético. 40

3.7 Determinación de las pérdidas de recursos materiales y financieros. . 41

Conclusiones Parciales: 41

Conclusiones..... 43

Recomendaciones 44

Anexos..... 48

Introducción

Por razones económicas y ambientales, hay una constante necesidad de aplicar el concepto de biorrefinería en la reconstrucción de las fábricas de azúcar. La tendencia dominante es incrementar la producción y tomar ventaja de los avances en la tecnología del azúcar y en las tecnologías de protección ambiental. La eficiencia energética es también un asunto importante en una reconstrucción de la fábrica como biorrefinería dado que el costo del combustible está en el orden del 10 % del costo total de producción y la quema del combustible es responsable de la mayor parte de las emisiones atmosféricas.

La Unidad Empresarial de Base (UEB) “Central Azucarero Uruguay” perteneciente a la Empresa Azucarera Sancti Spíritus del municipio Jatibonico, provincia Sancti Spíritus, el Central Jatibonico, llamado así en sus inicios, comenzó su construcción en el año 1902 y fue fundado en el 1904. Realizó su primera zafra en diciembre de 1905 con el nombre de Ingenio Jatibonico, propiedad de la compañía norteamericana Cuban Sugar Company. El central ha sido históricamente la principal fuente de empleo del pueblo, aun cuando existían varias industrias como la Fábrica de Piensos, de Dulces, de Asfalto y de Papel, pero es la única de ellas que sigue produciendo al máximo de su capacidad. Su objetivo es producir azúcar de alta calidad. En el presente año produjo 45797 toneladas de azúcar.

Los centrales azucareros presentan pérdidas de recursos energéticos en la generación, distribución, uso del vapor y en la administración del agua, lo que afecta los indicadores de desempeño energético y por tanto la economía de la industria.

El procedimiento presentado en este trabajo se basa en la consulta de metodologías y procedimientos nacionales e internacionales que enriquece el proceso de la revisión energética declarado en la noma cubana ISO 50001, elaborado con mayor grado de detalle para la mejor comprensión por investigadores y productores en el camino al mejoramiento de la eficiencia energética de las biorrefinerías cubanas.

Problema de investigación:

La UEB Central Azucarero Uruguay requiere un análisis del uso de la energía que permita una evaluación del desempeño energético, la identificación de ahorros potenciales de los recursos energéticos y la proyección de acciones de innovación tecnológica.

Hipótesis:

Es posible la identificación, cuantificación, control, reducción o eliminación de factores que afectan la eficiencia energética de la industria, mediante la evaluación del sistema energético, con la consiguiente reducción de los consumos de recursos energéticos e impactos ambientales desfavorables.

Objetivo General:

Evaluar el sistema energético, mediante la aplicación de sistemas de gestión de la energía.

Objetivos específicos:

- Identificar el potencial energético de la industria, mediante el registro y análisis de la información sobre la generación, distribución y uso de la energía y deficiencias tecnológicas en la industria que afectan la recuperación del calor.
- Determinar los principales indicadores de desempeño energético.
- Identificar los ahorros potenciales de energía y agua en la industria.

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).

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, traduciéndose 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 Generalidades sobre el proceso de producción de azúcar crudo

1.1.1 La caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos (Rein, 2012). La producción de caña varía significativamente de un área a otra, dependiendo de la variedad, utilizando factores climáticos, disponibilidad del agua, prácticas de cultivo y la duración del período de crecimiento. El principal objetivo al procesar la caña es recobrar azúcar, que en su estado puro se conoce con el nombre químico de sacarosa.

La caña de azúcar es una materia prima con excelentes condiciones para captar y almacenar la energía solar, y a partir de ella generar importantes cantidades de electricidad. Representa la mayor cantidad de biomasa en relación a otros cultivos. Adicionalmente, la caña permite obtener decenas de derivados de alto valor agregado (González, 2015).

1.1.2 Subproductos derivados de la caña de azúcar

Los subproductos del proceso de obtención de azúcar de caña son fundamentalmente el bagazo, la miel y la cachaza (Fernández, 2013).

- Bagazo: Es el residuo separado después de la extracción del jugo de la caña de azúcar y es el principal subproducto de la industria azucarera, representando el 30 por ciento de los tallos verdes molidos (González, 2006). La tecnología para la producción del azúcar indica que la materia prima trae en el bagazo el combustible necesario para la fábrica de azúcar, pudiendo entregar combustible y energía térmica o eléctrica después de satisfacer sus propias necesidades (Valdés, 2009).
- Miel final: Se llama miel final o miel de purga al subproducto proveniente de la centrifugación de la masa cocida de tercera. Además de los azúcares no cristalizados, las mieles finales contienen compuestos orgánicos y sales inorgánicas que pasan a esta a través del proceso de fabricación. Se destinan principalmente para la alimentación animal y usos industriales, por lo general, en la producción de alcohol etílico, rones y levaduras (ICIDCA, 1980).
- Cachaza: La cachaza obtenida en el proceso de purificación de los jugos presenta un valor tal, que se puede catalogar como un subproducto y no como un residual. Las principales aplicaciones, considerando las experiencias desarrolladas en Cuba son: la fertilización orgánica y mineral de los suelos en forma directa; la elaboración de compost; la producción de biogás y fertilizantes y la producción de alimento animal (CITMA, 1998).

En el anexo 1 se observa un esquema de los subproductos fundamentales de la industria azucarera y sus producciones derivadas.

1.2 Gestión energética

Para realizar una gestión energética eficaz se debe considerar la energía como un recurso más, otorgándole un valor equiparable con el resto de los mismos (materiales, mano de obra, materias primas, etc.). De esta forma, los sistemas de gestión energética (SGE) tratan la energía como un recurso que se debe contabilizar para así alcanzar los objetivos de consumos específicos predeterminados que permitirán (Nordelo, 2013):

- Controlar la adquisición, almacenamiento y consumo de todo tipo de energía, manteniendo una contabilidad periódica de los mismos y de los indicadores correspondientes.

- Identificar qué áreas de actividad requieren mayor estudio y aquellas donde se malgasta energía.
- Minimizar los costos de energía.
- Proteger al medio ambiente en materia de emisiones y residuos industriales.

La política sobre el uso racional de la energía en las fábricas químicas está dirigida a:

- Obtener la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de la energía que permita reducir de forma sistemática los indicadores y costos energéticos, como una de las vías para alcanzar la competitividad en las producciones y los servicios.

La gestión energética puede ser concebida como un esfuerzo organizado y estructurado, para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de la energía. Es decir, lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio del confort, productividad, calidad de los servicios y de forma general, sin disminuir el nivel de vida. Se considera uno de los mejores caminos para conseguir los objetivos de conservación de energía, tanto desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional. En resumen, todas aquellas actividades a realizar para lograr un ahorro sustancial de energía y una mejora en la eficiencia energética de una fábrica química se pueden conceptuar dentro de los sistemas de gestión energética (Espinosa, 2014).

1.2.1 Sistema de Gestión de la Energía (SGE). Norma Cubana

La Norma Cubana (2019) especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía; en la cual se definen los siguientes aspectos principales: objeto y campo de aplicación, referencias normativas, términos y definiciones y los requisitos del sistema de gestión de la energía; este último aspecto incluye: requisitos generales, responsabilidad de la dirección, política energética, planificación energética, implementación y operación, verificación y revisión por la dirección. En la planificación energética se desarrolla la revisión energética y en la implementación y operación, el diseño.

1.2.1.1 Revisión energética

Según la norma, la organización debe desarrollar, registrar y mantener una revisión energética. La metodología y el criterio utilizados para desarrollar la revisión energética deben estar documentados. Para desarrollar la revisión energética, la organización debe:

a) analizar el uso y el consumo de la energía basándose en mediciones y otro tipo de datos, es decir:
- identificar las fuentes de energía actuales;
- evaluar el uso y consumo pasados y presentes de la energía;

b) basándose en el análisis del uso y el consumo de la energía, identificar las áreas de uso significativo de la energía; es decir:
- identificar las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de la organización que afecten significativamente el uso y consumo de la energía;
- identificar otras variables pertinentes que afectan a los usos significativos de la energía;
- determinar el desempeño actual de las instalaciones, equipamiento, sistemas y procesos relacionados con el uso significativo de la energía;
- estimar el uso y consumos futuros de energía;

c) identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

La revisión energética debe ser actualizada a intervalos definidos, así como en respuesta a cambios mayores en las instalaciones, equipamiento, sistemas o procesos.

1.2.2 **Elementos de un Sistema de Gestión de la Energía**

La política energética es el impulsor de la implementación y la mejora del SGE y del desempeño energético de la organización dentro de su alcance y límites definidos. La política puede ser una breve declaración que los miembros de la organización pueden comprender fácilmente y aplicar en sus actividades laborales. La difusión de la política energética puede utilizarse como elemento propulsor para gestionar el comportamiento de la organización (Borroto, 2006).

El objetivo de un sistema de gestión de la energía es mejorar la eficiencia energética y no repetir comportamientos ineficientes anteriores. La consecución de este objetivo

debería conducir a la reducción de los costos y de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la gestión sistemática de la energía (Coakled, 2010).

El primer paso de la revisión energética consiste en identificar las fuentes de energía utilizadas por la organización dentro de los límites y alcances definidos para el SGE. Las fuentes de energía pueden ser variadas, incluyendo combustibles, electricidad, vapor, calor, aire comprimido, entre otros. Es posible que existan fuentes de energía, tales como el aire comprimido, vapor y calor, que no sean consideradas como tal por la organización, debido a que generalmente son generadas por la misma empresa. Sin embargo, es posible hacer gestión energética importante sobre estas fuentes de energía secundaria.

Además, el uso eficiente de este tipo de energía puede dejar capacidad para reemplazar otro tipo de consumo de energía.

1.2.3 **Herramientas que se utilizan para establecer un Sistema de Gestión Energética**

Las herramientas de trabajo son aquellas que nos permiten implementar las secuencias de mejora. Por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas (Borroto, 2002).

Las herramientas básicas fundamentalmente que se utilizarán son las siguientes:

- Diagrama de Pareto: Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.
- Histogramas: Es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confecciona mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical. Generalmente se presenta en forma de barras o rectángulos cuyas bases son dadas por los intervalos de clases y las alturas por las frecuencias de aparición de las mismas.
- Diagrama de dispersión: Este diagrama permite observar la relación que existe entre una supuesta causa y un efecto. Su uso permite comprobar o verificar hipótesis que pudieran haberse desprendido del análisis del diagrama Ishikawa.

- Gráficos de control: El control es la acción de hacer coincidir los resultados con los objetivos. Persigue elevar al máximo el nivel de efectividad de cualquier proceso. Para que exista la acción de control debe existir un estándar (objetivo a lograr), una medición del resultado, herramientas que permitan comparar los resultados con el estándar e identificar las causas de sus desviaciones y variables de control, sobre las cuales actuar para acercar el resultado al estándar.

1.3 Diagnóstico Energético

1.3.1 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), 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).

1.3.1.1 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.

1.4 Cogeneración

1.4.1 Cogeneración en la industria azucarera

En el sistema de generación de vapor (Espinosa, 2014), cuando denominamos la energía total, se trata de producir potencia y de ella generar trabajo mecánico, debe pensarse en la cogeneración. El término cogeneración indica la producción simultánea de electricidad y calor (vapor) útiles a un proceso.

La cogeneración de energía eléctrica, a partir de la quema del bagazo (residuos de la molida), se encuentra entre una de las ventajas más importantes que posee la agroindustria de la caña de azúcar, ante la crisis energética y la necesidad de cambiar la matriz energética cubana. Esta cogeneración proporciona beneficios económicos importantes, tales como la reducción de los costos de producción del azúcar, el etanol, hace autosostenible el proceso industrial y permite crear excedentes que pueden ser vendidos a la red nacional eléctrica. Además, se reduce o elimina la dependencia a los combustibles fósiles; se descentraliza la fuente de generación y se localiza de forma territorial, lo cual contribuye al ahorro de costos y gastos de transportación en el suministro de combustible fósil y a la reducción de pérdidas en la transmisión y distribución, por ese carácter territorial de la fuente de suministro. A esto se le añaden beneficios sociales, como la generación de empleos, la garantía del suministro de electricidad a las comunidades cercanas, y el sustentamiento y la promoción de otras actividades industriales y de servicios territoriales. La cogeneración de energía eléctrica, a partir de la quema del bagazo, también conlleva beneficios ambientales como las bajas emisiones de CO_2, comparadas con los combustibles fósiles, lo cual resulta compensado finalmente con des-emisión a partir del efecto bosque de las plantaciones de caña de azúcar (González, 2015).

El costo de capital de la instalación de los proyectos de cogeneración basados en el bagazo está en el rango de 4,5 a 5,0 millones/MW dependiendo de los parámetros técnicos, financieros y operativos. La viabilidad económica para la capacidad inferior a 6 MW no es sostenible. El tipo adecuado de capacidad desde el punto de vista de la viabilidad económica debe estar entre 7,5 y 10 MW (FAQs, 2017). El tamaño del proyecto depende de la disponibilidad de combustible (biomasa) cerca de la ubicación del proyecto. La recolección y almacenamiento de biomasa es la actividad crítica para que cualquier proyecto de biomasa tenga éxito.

1.4.2 **Sistemas de cogeneración**

De forma general los sistemas de cogeneración son instalaciones auxiliares que ayudan a:

- Ahorrar energía y costos energéticos mientras estén funcionando y no causen ningún perjuicio cuando por cualquiera razón no estén en funcionamiento.
- Asegurar una capacidad mínima de energía eléctrica (según la máxima térmica) en caso de fallo de suministro de otras fuentes.
- Posibilitar la compensación de la energía reactiva de la industria, ahorrando el costo de la energía eléctrica por este concepto.

Es evidente el primer punto, ya que una instalación de cogeneración bien concebida, producirá cada Kwh a un costo similar al de la energía del combustible, si el calor de los gases de combustión se aprovecha en su totalidad. Sobre todo si el combustible utilizado es bagazo (Espinosa, 2014).

Los sistemas de cogeneración se pueden agrupar de la forma siguiente:

1. Motor de combustión interna.

2. Turbinas de gas. (Rendimiento eléctrico entre 20 y 38 %).

3. Turbinas de vapor.

4. Ciclos combinados.

Aun cuando la cogeneración debe ser evaluada como parte de un plan de administración de energía, su principal prerrequisito es que la planta presente una demanda significativa y concurrente de calor y energía eléctrica, una vez identificado este escenario pueden explorarse sistemas de cogeneración aplicables bajo las siguientes circunstancias:

- Desarrollo de nuevas instalaciones.
- Ampliaciones importantes a instalaciones existentes con incremento de demandas de calor y/o de producción de energía remanente de proceso.
- Reemplazo de equipos viejos de proceso o de generación de energía eléctrica y oportunidad de mejorar la eficiencia del sistema de suministro de energía (Campos, 2015).

1.4.3 **Definición del nivel de cogeneración**

En el escenario actual, dada la problemática del sector eléctrico, los beneficios de los sistemas de cogeneración no solo se manifiestan hacia el usuario directo en un menor

costo energético, sino también en la posibilidad de la venta de excedentes eléctricos a la red pública. Aunque en general la mayoría de los empresarios muestren interés por satisfacer sus necesidades de energía de proceso, existe la alternativa de convertirse además en productor de electricidad, que puede resultar muy atractiva, atendiendo inicialmente a la satisfacción total de sus necesidades térmicas y, en función de esto, ampliar su capacidad de generación eléctrica (CONAE, 2011).

Existen entonces dos niveles de cogeneración por tratar:

1. Satisfacción térmica al 100% y compra de electricidad.

Este es incapaz de generar toda la electricidad requerida en ocasiones, debido a fuertes variaciones en la relación Q/E, causadas por la variación de la demanda eléctrica. La flexibilidad que se requiere complicaría considerablemente el sistema y, dada la duración de los picos de demanda eléctrica, no se justifica la inversión en incrementar así su capacidad eléctrica.

2. Satisfacción térmica al 100 % con excedentes eléctricos.

En el caso anterior, el aumento de la capacidad de generación eléctrica, en caso de que resulte técnica y económicamente viable, como es el caso de varias instalaciones actuales, daría como resultado poder exportar electricidad a la red pública por largos períodos.

1.4.4 **Algunos índices usados en centrales azucareros**

La cogeneración en la industria azucarera, surgió como una cuestión necesaria en el desarrollo de la ingeniería, se hizo evidente que existe una reserva grande de producción de energía mecánica o sea, existe una demanda alta de energía térmica y una relativamente pequeña demanda de energía mecánica, del orden del 10 % de la primera.

Los sistemas de cogeneración serán seleccionados de acuerdo al análisis energético, atendiendo a las características del esquema de cogeneración. Un sistema de cogeneración es tanto más eficiente cuanto mayor sea la cantidad de calor aprovechado, por lo que el dimensionamiento óptimo del mismo deberá estar basado en la premisa de satisfacer al 100 % de la energía térmica que el proceso demanda (Espinosa, 2016).

Algunos de los índices utilizados en los centrales azucareros para diferentes áreas del proceso, recogidos en la literatura, se exponen a continuación:

- Generación de vapor (Calderas).

La relación:

— ——————————— Se llama eficiencia de la caldera.

En Cuba se considera que la eficiencia total nunca excede del 61,3% y solo llega a este valor en las instalaciones mejores.

En general, la cantidad de vapor producido por unidad de peso del bagazo varía entre 1,80 a 2,75 kg/kg de bagazo. Frecuentemente se encuentran: 2,25 a 2,50 kg/kg (Hugot, 1986).

- Generación eléctrica (Turbogeneradores).

El tamaño de la planta eléctrica depende de:

- ✓ La disponibilidad de combustible que se tiene para producir vapor.
- ✓ La presión y temperatura del vapor a la entrada del turbo generador.
- ✓ El esquema de cogeneración.

Los factores anteriores determinan la potencia eléctrica generada ya sea, utilizando turbogeneradores de contrapresión o condensación con extracciones. Todo esto garantizando que, por medio de los turbos se conduzca el vapor necesario para satisfacer la demanda de calor al proceso de fábrica y se produzca trabajo útil en el los bornes del generador eléctrico de la turbina. Los steam rate (SR) de las turbinas que actualmente operan en los ingenios modernos, oscilan entre 5,49 – 10,88 kg vapor / kWh [12,1 - 24 lb vapor/kWh] (Zanz, 2014).

En general la generación de la energía eléctrica por tonelada de caña procesada hasta el momento se encuentra en los siguientes valores a nivel mundial (Espinosa, 2016).

LOUSIANA 90 kWh/ tch

FLORIDA 22 kWh/ tch

PUERTO RICO 26 - 28 kWh/ tch

CUBA ≈ 26 - 30 kWh/ tch

- Evaporación (Cuádruple efecto).

El coeficiente de evaporación de un múltiple efecto en kilogramos de agua por hora y por metro cuadrado de superficie de calentamiento, para una misma caída total de temperatura, y para una misma superficie individual de los cuerpos, es inversamente proporcional al número de efectos: El coeficiente de evaporación de un cuádruple de 4

cuerpos de 200 m^2 será los ¾ del coeficiente de evaporación de un triple de 3 cuerpos de 200 m^2.

Por consecuencia, la evaporación total de un múltiple efecto depende, no de su superficie total, sino de la superficie individual de cada cuerpo.

En promedio, y para incrustaciones normales, puede calcularse que la cantidad de agua evaporada por un múltiple efecto de cuerpos iguales, es igual al producto por 100 kg de la superficie individual de los cuerpos.

Si este coeficiente se relaciona a la superficie total de múltiple efecto, pueden tomarse como base los coeficientes de evaporación siguientes (Hugot, 1986):

Tabla 1.1. Coeficiente de evaporación.

Simple efecto	100 kg/h/m^2 de su superficie total
Doble efecto	50 kg/h/m^2 de su superficie total
Triple efecto	33 kg/h/m^2 de su superficie total
Cuádruple efecto	25 kg/h/m^2 de su superficie total
Quíntuple efecto	20 kg/h/m^2 de su superficie total

- Cristalización y cocción (Tachos).

El coeficiente de evaporación de un tacho es el peso del agua evaporada de la masa cocida, por unidad de superficie de calentamiento en la unidad del tiempo. Se expresa generalmente como kg/m^2/h (Hugot, 1986).

En Cuba, en tachos de calandria, el mismo autor da finalmente los coeficientes de evaporación anotados en la Tabla 97:

Tabla 1.2. Coeficiente de evaporación en tachos (kg/m^2/h)

	Máxima	Mínima
Pie de templa.	85	17
masa cocida A	71	32
masa cocida B	46	11
masa cocida C	36	1.7

En los tachos, si el consumo de vapor se expresa como la relación entre este y la cantidad teórica de agua que debe evaporarse en la meladura, se verá que esta relación es sensiblemente mayor que 1. Esto se debe al agua que se emplea en la dilución de las mieles, al agua de lavado que se usa en las masas cocidas de alto grado, y al agua que se emplea para eliminar el falso grano, la suma de las cuales representa una cantidad adicional de agua que debe evaporarse junto con la presente en la meladura.

¿Cuál es entonces la relación k que debe existir entre la cantidad de vapor necesaria y la cantidad de agua originalmente presente en la meladura? (Hugot, 1986)

Noël Deerr (Pág. 331) estima: 1,43

Tromp (ISJ. 1938. Pág. 226) 1,75

Webre (Pág. 298) 1,23

Según (Espinosa, 2016), los índices asociados al consumo de calor del proceso y a la generación de vapor se comportan de cómo se muestra a continuación.

Consumo de calor del proceso.

Áreas	% de Qcald
Potencia (Turbos y Máquinas. De Vapor)	2 - 5
Tecnológico (proceso)	70 - 80
Condensados	10 - 15
Otros	2 - 4
Pérdidas Totales	hasta el 5%

Tabla 1.3. Índices de generación.

Presión ata	**Temperatura ^{o}C (Vapor)**	**kgv/kgb.**
22	340	2,35
33	380	2,29
45	440	2,23
64	490	2,15

1.4.5 **Herramientas para determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración**

La baja eficiencia de los sistemas de cogeneración actuales, así como el no aprovechamiento de corrientes con calidad térmica en el proceso productivo, aumenta el consumo de vapor, provoca también un aumento en el consumo de bagazo, y se limita de esta manera la producción de electricidad y los excedentes de bagazo.

Con la aplicación de herramientas de simulación e integración de procesos y un análisis energético y exergético de diferentes esquemas de cogeneración, es posible determinar los esquemas más eficientes con mayores ganancias, en cuanto a la producción de electricidad y excedentes de bagazo (González, 2016).

Para llegar a conocer las condiciones actuales de los esquemas energéticos de las fábricas de azúcar es necesaria la aplicación de un balance termoenergético, porque puede reflejar las dificultades existentes y conducir a la búsqueda de soluciones para evitar excesos en el consumo de combustible.

La utilización de la modelación matemática para predecir el comportamiento de procesos industriales es en nuestros días una herramienta común de trabajo en la ingeniería moderna.

La industria azucarera, al ser un tipo de industria mayormente característica del tercer mundo, no ha recibido de ningún modo este beneficio, existen solo aplicaciones aisladas que total o parcialmente han tratado de paliar esta carencia. En Cuba, estos esfuerzos, dieron origen a diversos paquetes, software, que basan la realización de los balances de materiales y energía en los cálculos de diseño de estos equipos por lo que se acercan o se alejan en menor o mayor medida a la metodología de Espinosa Pedraja (García, 2014).

El simulador Sistema Termo Azúcar (STA) en su versión 4.0 se ha concebido con el objetivo de realizar la evaluación de los sistemas termo-energéticos en fábricas de azúcar crudo. Es un programa de simulación del tipo modular para estado estacionario, cumpliendo con las principales características y ventajas de este tipo de simuladores, entre las que se destacan, la gran flexibilidad para representar integralmente los distintos esquemas e incorporar nuevos módulos y la gran cantidad de información sobre las corrientes y los equipos. Así como la posibilidad de realizar múltiples análisis sobre los resultados de la simulación (Pérez De Alejo, 2014)

1.5 Aguas y sistemas de condensados

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 templas 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).

Ya que la caña de azúcar consiste de aproximadamente 70 % agua, una fábrica de azúcar procesa más agua que azúcar en sí. Toda el agua que ingresa a una fábrica de azúcar también deberá abandonarla en una u otra forma.

Teóricamente existe un excedente de agua producida en una fábrica de azúcar que inevitablemente deberá encontrar su salida de la fábrica en una corriente de efluente. Adicional al agua que ingresa a la fábrica con la caña, también puede haber agua adicional en forma de agua de servicios o cruda agregada.

El agua que abandona la fábrica lo hace en las siguientes formas:

1. Junto con los productos de la fábrica:

a) en la melaza;

b) en la cachaza;

c) en la ceniza húmeda y si se utiliza lavado de gases de combustión, en el hollín;

d) en el bagazo, ya sea hacia las calderas o como subproductos.

2. En forma de vapor en:

a) gases de combustión, que podrán estar o no saturados, dependiendo si se utiliza lavado de gases de combustión;

b) vapor generado en torres de enfriamiento o en piscinas de enfriamiento con aspersores;

c) vapor de flasheo proveniente del jugo calentado;

d) evaporación en difusores o molinos.

3. En forma líquida como:

a) excedente de condensados;

b) sobreflujo en el circuito de agua de enfriamiento;

c) soplado de calderas;

d) pérdidas por desplazamiento en torres de enfriamiento o piscinas de enfriamiento;

e) efluentes (lavados o fugas) de drenaje (Rein, 2012).

Las aguas calientes condensadas de los vapores en las calandrias de calentadores, evaporadores y tachos se denominan condensados del proceso tecnológico.

El sistema usado por equipo, en operación normal del ingenio es el siguiente: las aguas procedentes del pre, primer vaso del cuádruple y tachos, previo chequeo analítico cualitativo por parte del laboratorio químico al respecto son enviadas hacia el tanque de condensados puros; los demás condensados son enviados al tanque de agua para uso en necesidades tecnológicas (Espinosa, 2014).

La fábrica de azúcar tiene un gran número de condensados, de los varios cambiadores de calor: múltiples efectos, calentadores de jugo, tachos al vacío, etc.

Estos condensados son generalmente puros porque han sido evaporados y condensados como agua destilada. Sin embargo, es necesario clasificarlos de acuerdo con su origen:

1. Las aguas derivadas de la condensación del vapor que viene directamente (cambiadores dc calor de vapor vivo), o indirectamente (cambiadores de calor de vapor de escape) de las calderas.
2. Las aguas originadas del vapor del jugo; condensados del segundo cuerpo y subsecuentes; en un múltiple efecto, de calentadores de jugo o de otros cambiadores de calor calentados con vapor de múltiples efectos.

Es difícil que los primeros condensados se contaminen. Como se originan de vapor a presión, aun cuando algún tubo del primer efecto esté perforado, por ejemplo, es el vapor el que se escapa al jugo y no lo contrario.

Los condensados del segundo grupo son más peligrosos. Primeramente tienen los mismos riesgos de contaminación directa, por el jugo. Además, como los vapores del jugo están frecuentemente al vacío, es más fácil que el jugo a presión los contamine a través de cualquier perforación. Sin embargo, la contaminación principal se debe al azúcar en el arrastre en los evaporadores. Las aguas de retornos deberán entonces separarse cuidadosamente en condensados (Hugot, 1986):

a) Del vapor directo o de escape,
b) Del vapor del jugo.

La selección de la mejor calidad de condensado para alimentación de calderas requiere generalmente utilizar el condensado de vapor de escape lo más que se pueda, ya que éste es el más limpio (Rein, 2012).

Por lo que, solo los condensados del primer grupo deben mandarse al tanque de agua de alimentación de calderas.

Los condensados del segundo grupo pueden utilizarse en la imbibición, el lavado de las tortas de los filtros, la dilución de las mieles, etc. Si hay un exceso de ellos es mejor desecharlos y no mandarlos a las calderas (Hugot, 1986).

Conclusiones parciales

1. La Norma Cubana ISO 50001 para sistemas de gestión de la energía especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.

2. La cogeneración de energía eléctrica a partir de la quema del bagazo es una de las ventajas más importantes que posee la agroindustria de la caña de azúcar, proporcionando beneficios económicos y ambientales.
3. El análisis de los indicadores de eficiencia a partir de la evaluación energética permiten evaluar el desempeño energético con el propósito de incrementar la eficiencia en el uso de la energía.
4. El retorno de los condensados del proceso, la determinación de su calidad para satisfacer las demandas y ser utilizados en las múltiples operaciones que tienen lugar, así como la reducción de sus consumos, influyen significativamente en la eficiencia de las fábricas de azúcar.

Capítulo II: Procedimiento de análisis energético.

En el presente capítulo se muestra un procedimiento desarrollado para el análisis de la energía en las industrias de la caña de azúcar con el propósito de evaluar el potencial de recursos energéticos y materiales para que progresivamente se transformen en biorrefinerías.

El procedimiento, mostrado en un enfoque general, se muestra en la Figura 1 y se describen cada uno de los pasos.

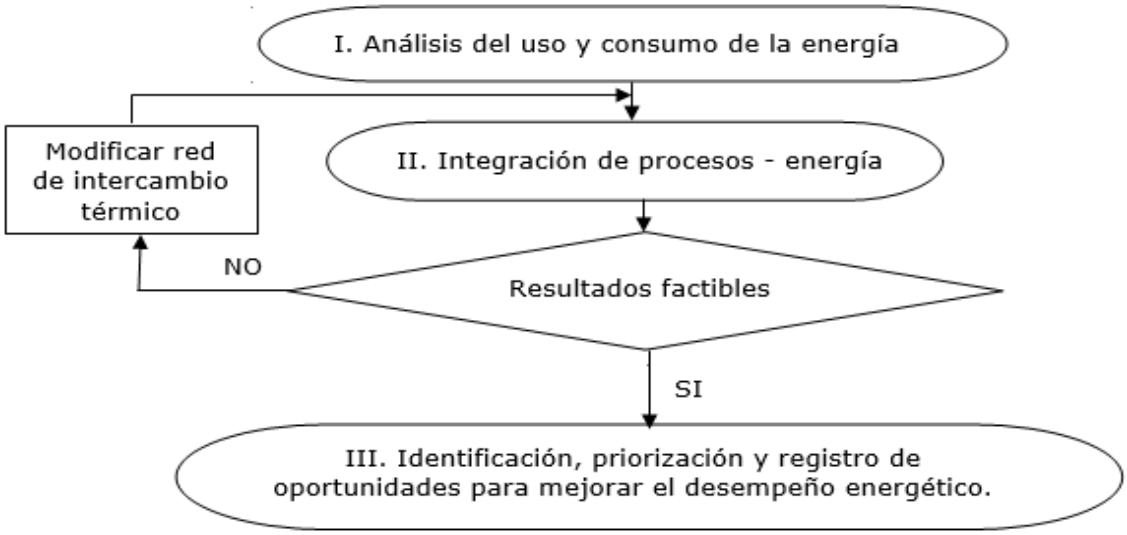


Figura 2.1 Procedimiento de análisis energético

El balance termoenergético se aplica según la metodología de Espinosa (1991), que constituye la principal actividad de la revisión energética, con el objetivo de determinar, analizar y comparar evaluativamente los indicadores de desempeño energético (IDEns).

La evaluación del desempeño energético se sustenta en la implementación de las actividades de la revisión energética según la norma cubana ISO 50001 (2019) para los sistemas de gestión de la energía.

El procedimiento se describe a continuación:

I. Análisis del uso y consumo de la energía.

1. Confección del esquema gráfico termoenergético que incluye equipos de generación, líneas de distribución de productos intermedios y finales, vapor, vapor secundario, condensados y equipos consumidores.

2. Registro de las variables de operación medibles de equipos, líneas de vapor, condensado, corrientes azucaradas (presión, temperatura, flujo, concentración).
3. Identificación mediante inspección visual de equipos y sistemas auxiliares con deficiencias en la recuperación del calor, pérdidas de vapor y energía térmica (incluye fugas de vapor y estado del aislamiento, diámetros exteriores y longitud de tuberías de corrientes de proceso, vapor y condensado).
4. Actualización de las especificaciones técnicas de los generadores de vapor, motores primarios y equipos tecnológicos.
5. Confección del esquema de aguas del proceso, que incluye agua cruda para proceso, agua tratada, condensados puros, condensados contaminados y efluentes.
6. Registro y análisis de los consumos actuales (tres meses) y pasados (dos años) de materia prima y recursos energéticos (combustible, electricidad, agua), así como la producción, a través la confección de gráficos y su análisis que implica la identificación de usos significativos de energía mediante diagramas y gráficos de consumo de recursos energéticos y producción.
7. Identificación de las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de, la organización que afecten significativamente al uso y al consumo de la energía.
8. Determinación del desempeño energético actual de las instalaciones, equipamiento, sistemas y procesos relacionados con el uso significativo de la energía, que implica:

- Balances de materiales.

- Balance de vapor: análisis de la distribución del vapor.

- Balance de agua a calderas: determinación del agua de reposición.

- Balance de calor: distribución del calor, pérdidas de calor. (Espinosa, 2015)

- Balance total de agua en la industria. (Rein, 2012).

9. Establecimiento de indicadores para el monitoreo y medición del desempeño energético: consumo de vapor de baja presión % caña, bagazo sobrante % bagazo disponible, generación y consumo específico de electricidad (kWh/tc y kWh/t azúcar), consumo específico de energía (MJ/t caña y MJ/t azúcar) consumo de bagazo por electricidad producida (kgb/kWh), consumo de agua cruda (m^3/tc y m^3/t azúcar) y otros que se identifiquen.

10. Análisis de los índices de los indicadores y otros parámetros tales como porcentaje de vapor por válvula reductora, porcentaje de agua de reposición, porcentaje de pérdidas de calor, eficiencia térmica y eficiencia de la generación.
11. Evaluación comparativa de los indicadores de desempeño energético (IDEns) calculados con los valores de los indicadores nacionales e internacionales.
12. Establecimiento de una línea base energética de la fábrica que represente el comportamiento energético actual y actúe como referencia al momento de implementar el sistema de gestión de la energía (SGE) y oportunidades de mejora; así como la cuantificación de los impactos que esto traerá al desempeño energético.
13. Determinación de los ahorros potenciales ($/año) a partir de la cuantificación de las pérdidas de recursos monetarios por uso deficiente de los recursos energéticos: $/ t combustible, $/$m^3$agua

II. Integración de procesos - integración de energía. (Kemp, 2007), (Klemeš, 2013), (Smith, 2016)

1. Determinación de los parámetros mínimos de desempeño energético (servicios de vapor y agua de enfriamiento, número de unidades de intercambio térmico, área de transferencia de calor, costos) y la máxima recuperación de calor.
2. Análisis, síntesis y diseño de la red de intercambio de calor.
3. Análisis de los resultados de la integración de energía y los resultados del análisis de uso y consumo de la energía.
4. Modificación la red de intercambio de calor en correspondencia con los resultados en el análisis del uso de la energía y la integración de procesos.

III. Identificación, priorización y registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético.

1. Consulta con directivos y operarios de la fábrica para definir posibles modificaciones al proceso y esquema térmico.
2. Considerar la optimización del esquema integrado material y energéticamente, incluyendo las nuevas producciones.
3. Reajuste del esquema térmico: determinación de los indicadores del desempeño energético.
4. Definición de proyectos de inversión en sistemas del proceso tecnológico y servicios de energía.

5. Estimación de la rentabilidad de inversión basada en beneficios por concepto de ahorro de electricidad, combustible, agua
6. Definición de los objetivos, metas y planes de acción en función de mejorar el uso, consumo y desempeño energético.

En la primera etapa del procedimiento se determinan los indicadores reales de desempeño energético de la instalación industrial. En la segunda etapa, se determinan, mediante métodos de integración de calor, los objetivos energéticos (requerimientos mínimos de servicios de vapor y agua de enfriamiento, número de unidades de intercambio térmico, área de transferencia de calor, costos) y la máxima recuperación de calor que se puede alcanzar. El diseño de una red de recuperación de calor define si es posible la recuperación total o parcial del calor.

Los resultados obtenidos en la integración energética se comparan con los resultados obtenidos en la primera etapa del procedimiento y se define la factibilidad de modificaciones en el proceso. En la tercera etapa están las condiciones dadas para proponer la ejecución de modificaciones prácticas factibles a través de proyectos de inversión basadas en los ahorros potenciales de energía que se logran como resultado de las modificaciones que se identificaron en el análisis del uso de la energía y en la integración de calor.

2.1Términos y definiciones de equipos generadores y consumidores de vapor en el central azucarero.

Generadores de Vapor*:*

Son dispositivos que se usan para obtener vapor y usarlo como medio de calentamiento. Estos consisten en un hogar u horno, que es donde se alimenta el combustible, para que ocurra la combustión, se desprenden gases de combustión y existe la caldera que genera vapor a expensas de una corriente energética. El calor pasa del horno al agua por las tres formas de calor: conducción, convección y radiación.

Válvula Reductora:

Consisten generalmente en un diafragma, cuya parte inferior está sujeta a la presión por regular, el esfuerzo ejercido por el vapor en este diafragma se equilibra con un contrapeso ajustable, cuando el contrapeso sobrepasa la presión de vapor el nivelador desciende bajo la acción del peso y actúa como válvula de aguja que admite agua a

presión y la envía a un pistón que a su vez controla la abertura de la válvula de admisión del vapor a alta presión.

Calentadores de jugo:

Están formados por una calandria tubular, circulando el jugo por el interior de los tubos y el vapor alrededor de ellos. Mamparas adecuadas obligan al jugo a pasar un cierto número de veces de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, cada vez por una parte de los tubos de la calandria.

Existen dos tipos de calentadores de acuerdo a su posición:

- Verticales
- Horizontales

Los verticales ya no se usan en los centrales y solo se usan los horizontales que ocupan un área menor y el coeficiente de transferencia de calor aumenta.

Dentro de los calentadores horizontales más utilizados en industria azucarera se encuentran:

- Honolulu
- Webre

En este caso los calentadores instalados son del tipo Webre, los cuales están formados por 3 ó 4 intercambiadores unidos en serie tanto el jugo como el vapor.

En los calentadores se realiza el proceso de intercambio de calor conectivo desde el vapor condensándose hacia la pared exterior del tubo, a través de la pared del tubo por conducción y por último desde la parte interior del tubo hacia el jugo.

Evaporadores de jugo:

La evaporación es la operación unitaria por la cual un solvente es separado de una solución en forma de vapor. El evaporador de una fábrica de azúcar está constituido esencialmente por una calandria tubular que tiene la función de intercambiar el calor; para esto el vapor de calentamiento baña los tubos por el exterior y el jugo a evaporar se encuentra en el interior de los tubos. Los evaporadores se disponen de forma tal que la evaporación ocurrida en uno de ellos se utiliza como vapor de calefacción del siguiente. Para la realización de esta operación es necesario disminuir la presión de cada unidad sucesiva que se añada y así se establece una diferencia de temperatura adecuada que permitirá el comportamiento correcto del equipo. Esto constituye la evaporación a múltiple efecto.

Tachos:

En la sección de tachos se cristaliza la mayor parte de la sacarosa que está disuelta en la meladura y en las mieles A y B, en operaciones de evaporación a simple efecto que se realizan de acuerdo con la secuencia de actividad prevista en la secuencia de trabajo que se haya definido.

2.2 Metodología general del balance termoenergético.

La metodología para el balance termoenergético

A continuación, aparecen las ecuaciones para realizar el balance termoenergético

1. Consumo de vapor en el pre – evaporador 1.

Ec.2.1

La ecuación 1 se utiliza para el cálculo para el consumo de vapor en el pre – evaporador 2 ya que trabajan en las mismas condiciones

2. Consumo de vapor en el pre – evaporador 3 (GPre3).

Ec. 2.2

3. Consumo de vapor en el calentador jugo clarificado Gcal JC.

Ec. 2.3

4. Expresiones para el cálculo del consumo de vapor en los turbogeneradores su utilizo el software Turbine véase resultado en el **Anexo 1**.
5. Expresiones para el balance de vapor.
   - Ec. 2.4
   - Ec. 2.5
   - Ec. 2.6
   - Ec. 2.7
   - Ec. 2.8

6. Consumo de agua de reposición (Garep).

Ec. 2.9

7. Porcentaje de agua de reposición (%arep).

Ec. 2.10

8. Expresiones para el cálculo del balance de calor.

- Ec. 2.11
- Ec. 2.12
- Ec. 2.13
- Ec. 2.14
- Ec. 2.15
- Ec. 2.16

9. La eficiencia térmica general del proceso.

Ec. 2.17

Conclusiones Parciales:

1. El procedimiento para el análisis del uso y el consumo de la energía en las industrias de la caña de azúcar aplicado en la primera y última etapa enriquece las actividades normadas para los sistemas de gestión de la energía.
2. Los indicadores de desempeño energético constituyen una herramienta de uso sistemático para el control del proceso y evaluación de la eficiencia.
3. La metodología del balance termoenergético ofrece las expresiones de cálculo para los balances de vapor, condensados y calor.

Capítulo III. Evaluación del uso de la energía en el central azucarero.

Acometer una estrategia integral de modernización y diversificación es uno de los retos principales de la agroindustria cubana de la caña de azúcar. Las deficiencias operacionales y tecnológicas, presentes en la industria incrementan el consumo de energía y agua, afectan los indicadores de desempeño energético y provocan pérdidas de recursos materiales y financieros. La planificación energética eficiente según la Norma Cubana ISO 50001 contribuye a la mejora continua del desempeño energético. Como parte de la planificación, la revisión energética analiza el uso y el consumo de la energía basándose en el análisis de las fuentes de energía actuales, la identificación de las áreas de uso significativo de la energía y el registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético.

La evaluación del uso de la energía permite identificar el potencial energético y material de la industria para su conversión en biorrefinería, mediante la aplicación de metodologías de gestión eficiente de la energía y del agua.

3.1 Breve descripción de la Empresa azucarera Uruguay.

Empresa Azucarera Uruguay. Está ubicada en el municipio Jatibonico, provincia Sancti Spíritus. Ha sido históricamente la principal fuente de empleo del pueblo Uruguay. La construcción del central comienza en el año 1904, iniciando su primera zafra en diciembre de 1905 con el nombre de Ingenio Jatibonico, propiedad de la compañía norteamericana Cuban Sugar Company que compró la Finca La Herradura el 21 de junio de 1902, con el objetivo de construir allí dicho central, aledaño al Río Jatibonico del cual toma su nombre. Estaba muy cercano a la vía del ferrocarril, lo que le resultaba muy provechoso a los dueños de la compañía porque así podían garantizar mediante este, el traslado de la materia prima y la producción ya terminada. Esta compañía, que más tarde se llamaría The Cuban Rolla Company, era también la encargada de dirigir la construcción del ferrocarril desde Santiago de Cuba hasta Santa Clara, la cual comenzó en 1900. El central ha sido históricamente la principal fuente de empleo del pueblo, aun cuando existían varias industrias como la Fábrica de Piensos, de Dulces, de Asfalto y de Papel, pero es la única de ellas que sigue produciendo al máximo de su capacidad. Las labores en la agricultura cañera son indispensables para la realización de una buena zafra. La atención que se les brinda a los hombres que se dedican a esta tarea y la organización de unas buenas condiciones de trabajo resultan de vital importancia. A partir del 17 de mayo de 1960

cuando se promulgó la primera Ley de Reforma Agraria, el 3 de diciembre de 1963, la segunda, se evidenciaron profundos cambios en la tenencia de tierra y su organización territorial, esto trajo aparejado que los campesinos y pequeños agricultores que producían la caña y otros productos necesarios para la realización de la zafra, se organizaran en Cooperativas de Créditos y Servicios (C.C.S) y asociaciones campesinas, lo que conlleva la posibilidad del incremento potenciado de respuestas a las demandas de los centrales azucareros. En el mes de febrero de 1978 se crea en La Reforma, la primera Cooperativa de Producción Azucarera (CPA) dando de esta forma, comienzo a la constitución de éstas en el municipio. El 5 de abril de 1993 se desarrolla el proceso de constitución de las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), para ello se creó un clima propicio y se llevó a cabo con la profundidad requerida.

En los años sucesivos a la nacionalización el Central Uruguay fue objeto de diversas reparaciones que perseguían fundamentalmente aumentar la producción y lograr una mejoría en las condiciones de trabajo de aquellos hombres y mujeres que laboran en el mismo.

3.2 Descripción del proceso de fabricación.

La fabricación del azúcar crudo comienza en la preparación de la caña para la molienda, la caña es llevada a un centro de limpieza y después es trasportada en camiones y carros de ferrocarril hasta un basculador donde se descarga por uno de sus costados y cae por gravedad a una fosa o embudo, hay una parte de la caña que no pasa por el centro de limpieza que es la que es descargada por camiones. En este lugar es elevada por un conductor de esteras transportadoras de caña hasta los rompe bultos, los que comienzan a conformar el colchón de caña, luego pasa a los gallegos o niveladores, facilitándole el trabajo a las cuchillas, equipo encargado de fragmentar la caña y obtener valores de hasta un 90 % de índice de preparación lo que hace económicamente eficiente el consumo de los 800 Kw que se demanda en esta importante etapa y que permite en definitivas obtener una extracción de jugo en la primera unidad de molida hasta valores próximos al 60 % de la extracción. Este proceso tiene como objetivo fundamental romper la corteza exterior y llegar hasta las celdas donde se encuentran contenida la sacarosa para facilitar su extracción, pasando seguidamente a los molinos.

En la etapa de los molinos vamos a obtener el bagazo el que es utilizado en las calderas como combustible para generar vapor el cual va representar

aproximadamente el 35% del peso de la caña molida y el jugo mezclado para la producción de azúcar crudo. La extracción del jugo mezclado oscila en el rango de 90-100% en dependencia del flujo de agua de imbibición y de la fibra de la caña. El vapor de las calderas es aprovechado para producir energía eléctrica a través de los turbogeneradores. Estos turbogeneradores producen además el vapor de escape (1.757Kg/cm².) que es utilizado en el proceso por los dos pre evaporadores de área total de transferencia 2043 m^2 y que son los encargados de a su vez generar todo el vapor necesario en las áreas de concentración y cristalización que le proceden.

El jugo proveniente de los molinos pasa a la etapa de alcalización, proceso en el cual se encala el guarapo por medio de la adición de lechada de cal diluida con una densidad de 2-4ºBe en una proporción que va desde 500-650g de óxido de calcio por toneladas de caña molida o de sacarato con una densidad de 12-15 ºBe. Este proceso de encalamiento se puede realizar de una vez: en frío o en caliente o en dos etapas: una pre alcalización en frío con la rectificación en caliente, esta forma se denominada fraccionada. En este ingenio se utiliza la alcalización en frío, se realiza antes de que el jugo sobrepase las etapas de calentamiento. (Gutiérrez, 2003)

Posteriormente el jugo es calentado de 102-106°C en los calentadores para lograr una mejor mezcla en el tanque flash, y facilitar la formación del lodo en el clarificador; el tanque Flash está dotado de deflectores con el objetivo de lograr una mezcla homogénea entre el jugo y la cal, iniciándose así la reacción de $Ca_3(PO_4)_2$ precipitado que representa los núcleos de sedimentación en el clarificador. Con independencia del método a emplear la alcalización debe garantizar una estabilidad rigurosa del pH del jugo en un rango de variación máximo de 0.4 unidades entre los valores de 6.5-7.1. (López and Vera, 1983)

La aplicación del medio alcalizante debería realizarse en condiciones que favorezcan un mezclado con el jugo lo más perfecto y vigoroso posible, para evitar zonas locales de diferentes pH que inciden negativamente en la calidad de la alcalización. En toda esta etapa de alcalización ocurren transformaciones químicas. El jugo alcalizado pasa por gravedad a los tanques flash y luego a los clarificadores donde se forman los fóculos de fosfato tricálcico, que son los encargados de arrastrar las impurezas hacia el fondo y formar la cachaza, impidiendo que estas se disuelvan en las condiciones físicas que trabaja el equipo.(Hugot, 1986)

Los lodos del clarificador son llevados a un mezclador donde se le adiciona el bagacillo como medio filtrante en proporción suficiente como para formar una torta con buenas propiedades físico-mecánicas. El contenido de bagacillo en la mezcla debe

estar en el orden de 6-8 kg/ton de caña, lo que representa de un 10-15 % en peso de la torta, estos lodos se caracterizan por tener un pH en el intervalo de 6-6.7.

El jugo clarificado que proviene del clarificadores con un pH de 6.7-7.1 pasa por el filtro de jugo claro, con el objetivo de eliminar el posible bagacillo en suspensión. Después de esta filtración se dirige al pre-evaporador donde ocurre una evaporación primaria a simple efecto. Estos operan a presiones relativamente altas (1.7577kg/cm^2) operando con vapor de escape. Después continúa a los evaporadores de doble efecto donde ocurre una evaporación secundaria. Se evapora el jugo utilizando dos líneas de quíntuple efecto. En este proceso se elimina la mayor cantidad de agua posible.

La meladura proveniente de los evaporadores se lleva a los tachos, donde se sigue concentrando hasta el punto en que aparecen los primeros cristales de azúcar no sin antes introducirle el cristal 600 que juega un papel fundamental para la aparición de los nuevos cristales de azúcar. Estos cristales de azúcar se siguen alimentando con meladura hasta alcanzar el tamaño adecuado para purgar la templa, de esta pulga se obtiene el primer azúcar comercial y miel A, esta se utiliza para fabricar la templa de segunda y cuando se pulga se obtiene azúcar de segunda y miel B, esta miel B se utiliza para elaborar la templa de tercera de las cuales se obtienen azúcar de tercera (semilla) que se utiliza como base para la fabricación del azúcar comercial y miel de purga que se emplea para alimentos de animales. Las masas cosidas “A” y “B”, son descargadas en los cristalizadores de primera y segunda y la masa cosida “C”, en los cristalizadores de tercera, los cuales, una vez enfriada la masa contenida se descarga en las centrifugas, las que tienen la función de separar la miel de los cristales de azúcar. Esta es la última etapa de purificación; aquí se obtiene el azúcar de primera y de segunda, el azúcar de tercera se utiliza en la preparación de la semilla y la miel final que sale de la fábrica es comercializada con industrias cercanas como por ejemplo las destilerías. El azúcar comercial sale de la centrífuga por 1 conductor de banda de goma de 40 pulgadas hacia un embudo (La tolva), lugar debidamente preparado donde se envasa a granel para su posterior comercialización (IPROYAZ, 2017). Un esquema que representa el proceso se muestra en la el **Anexo 1**.

3.3 Descripción del sistema energético.

El central azucarero Uruguay tiene una capacidad de molida de 9200 t. opera totalmente con electricidad. La fábrica opera con cinco calderas, cuatro de 45 (t/h) y una de 80 (t/h) que son alimentadas con bagazo, que suministran vapor sobrecalentado a 320°C y una presión de 17.5 (Kg/cm^2) a cuatro turbogeneradores de

contrapresión de 4 MW cada uno. La estación de calentamiento cuenta con siete bancos de calentadores de jugo mezclado los cuales están compuestos por tres calentadores modelo Webre ; del 1 al 6 son calentadores primarios que usa vapor vegetal de la extracción de los segundos vasos de los quíntuples efectos, del 7 al 12 son calentadores secundarios que utiliza vapor vegetal de la extracción de los dobles efectos , del 13 al 18 calentadores de rectificado que utiliza vapor de escape de los pre-evaporadores, del 19 al 21 son de reserva. En el proceso de concentración existen nueve calentadores de jugo clarificado que usa vapor de escape. El sistema de evaporación de múltiple efecto, mayor consumidor de energía en el proceso, cuenta con cuatro pre-evaporadores que utilizan vapor de escape, el jugo clarificado entra al pre-evaporador 1y2 luego pasa el clarificador 3, el 4 es de repuesto, existen cuatro dobles efectos que usan vapor vegetal extraído de los pre-evaporadores, cuenta además con dos líneas de quíntuples efectos los cuales utilizan vapor vegetal extraídos de los pre-evaporadores. La etapa de cristalización y cocción está constituida por trece tachos de calandria tipo Low-Head los cuales usan vapor vegetal extraído de los pre-evaporadores; del 1 al 7 para masa cocida A, del 8 al 10 para masa cocida B y del 11 al 13 para masa cocida C.

A continuación, en la figura 3.1, se muestra el esquema térmico del central Uruguay.

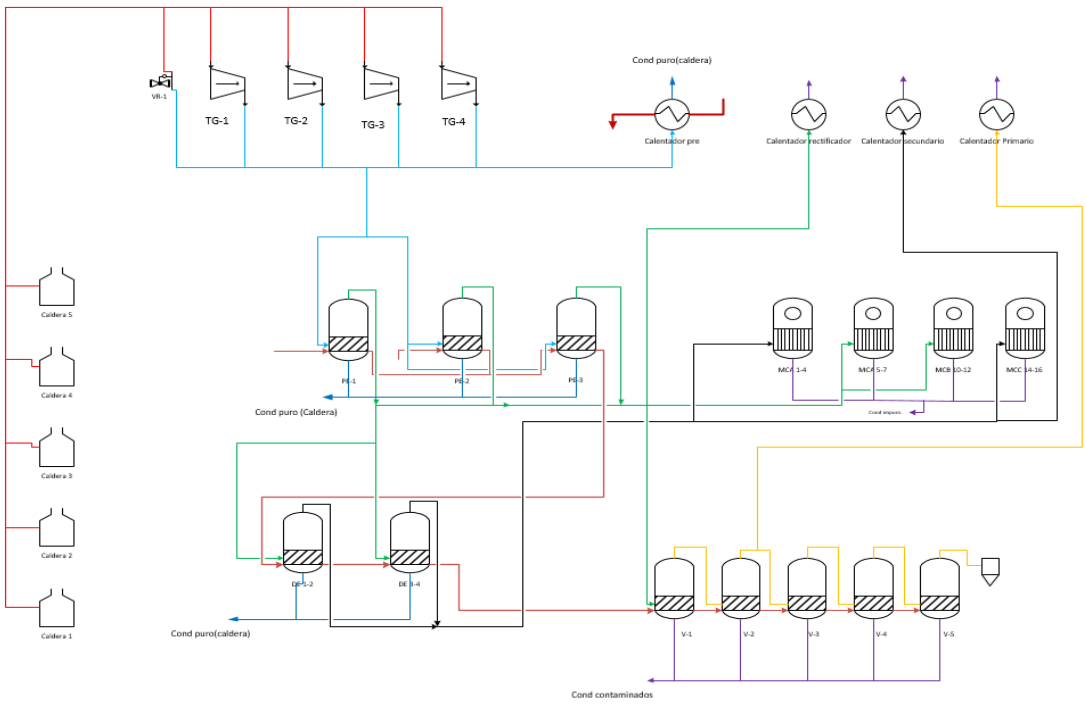


Figura 3.1 Esquema termoenergético del Central Uruguay

Para la zafra 2021- 2022 se planea remodelar la sección de evaporación del central implementando el sistema Bauza, mostrado en el anexo 3.

3.4 Registro y análisis de los consumos actuales

El análisis de los reportes de zafra 2020-21, permitió determinar algunos índices que caracterizan en gran medida la eficiencia de la fábrica de azúcar, a partir de los cuales se establecerá la línea energética, tomada como base para estudiar el comportamiento de la presente zafra objeto de estudio. Los indicadores mencionados se exponen a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Indicadores de eficiencia de la fábrica de azúcar.

Indicadores de eficiencia	Valor normado
Generación de electricidad (kWh/tc)	37,55
Consumo total de electricidad (kWh/tc).	6,95
Consumo de agua fresca (m^3/tc)	0,6

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de producción de azúcar, generación y consumo de electricidad en el mes de febrero del 2021 y a continuación en la figura 3.2 se puede observar de forma gráfica estos resultados.

En la figura 3.2 se observa un comportamiento inestable de la molienda, producción de azúcar, la generación y el consumo de electricidad durante el mes que se analiza. Se presenta frecuentemente baja producción de azúcar con alto consumo de electricidad. Algunos días es favorable, ej. el día 4 presenta la mayor producción de azúcar y un bajo consumo de electricidad.

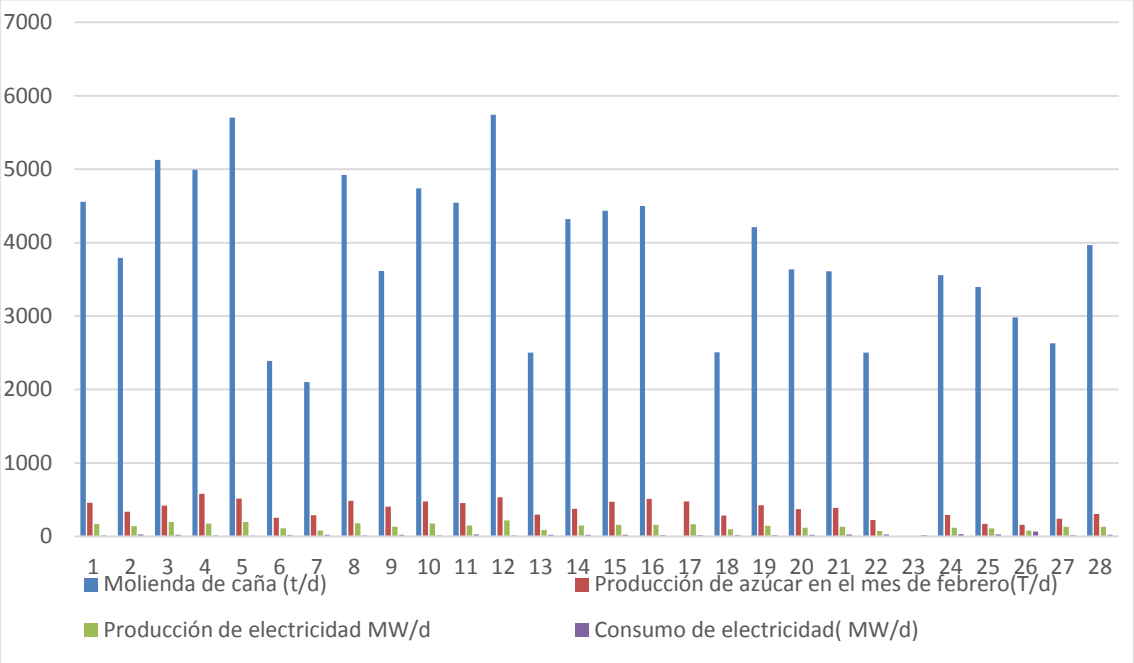


Figura 3.2 Producción de azúcar, molienda de caña, generación y consumo de electricidad.

3.5 Determinación del desempeño energético actual.

La aplicación del análisis energético se llevó a cabo utilizando la información que se muestra en la tabla 3.2 correspondiente a los primeros 128 días de la presente zafra para 110 días efectivos.

Tabla 3.2. Datos para el balance de masa.

Datos	Valores
Caña molida (Cm) (t/d)	9200
Agua de imbibición (A) (%caña)	25
Bagazo en caña (b) (%caña)	32,93

Cachaza (c), (kg/h)	20240
Lechada de cal (lc), (%caña)	3
Humedad del bagazo (hb), (%)	50
Floculante (F) (kg/h)	0,77
^{0} Brix jugo clarificado (ºBrixJc)	14,50
^{0} Brix salida Pre-ev 1-2 (ºBrixSp1)	17,40
^{0} Brix salida Pre-ev 3 (ºBrixSp3)	21,23
% extracción en molinos	98

Balances de materiales.

Los balances de materiales son realizados para una hora de caña molida.

Ec 3.1

Ec 3.2

Ec 3.3

Ec 3.4

Ec 3.5

Ec 3.6

Ec 3.7

Ec 3.8

Balances parciales en los pre-evaporadores 1,2 y 3.

La Ec 3.9 se usa para los pre-evaporadores 1y 2 pues trabajan a las mismas condiciones.

Ec 3.9

Ec 3.10

Ec 3.11

A continuación, se muestran los resultados de los balances de materiales realizado para una hora de caña molida.

Tabla 3.3. Resultado de los balances de materiales.

Parámetros	Resultados
Agua de imbibición (kg/h)	95833,33
Flujo de jugo en los filtros (kg/h)	59997,87
Flujo de jugo mezclado (kg/h)	352928,67
Flujo de lechada de cal (kg/h)	11499,99
Flujo de jugo alcalizado (kg/h)	424426,54
Flujo de jugo claro (kg/h)	404187,31
Jugo a la salida 1er pre (JSp1) (kg/h)	168411,38
Jugo a la salida 2do pre (JSp2) (kg/h)	168411,38
Jugo entrada de 3pre (JEp3)(kg/h)	336822,76
Jugo a la salida 3er pre (JSp3) (kg/h)	276058,22

A continuación, se muestran los datos para el balance de energía.

Tabla 3.4. Datos Pre-evaporadores

Datos	Valores
Pre-evaporadores	
Presión vapor alim a la calandria (kg/cm²)	1,757
Presión del cuerpo (kg/cm²)	0,91
Temp jugo alimentado (Talim) (°C)	117
Temp en el cuerpo del pre-evaporador (Tcp) (^{0} C)	118
Calor latente del vapor en la calandria(λcalandria) (kJ/kg)	2214,48
Calor latente del vapor en el cuerpo del pre-ev(λcuerpo) (kj/kg)	2265,74
Evaporación en el pre-evaporador 1-2(Ev1) (kg/h)	33682,28
Evaporación en el pre-evaporador 3(Ev3) (kg/h)	60764,54

Cpjc (kJ/kg^0 C)	3,84
Cpjep3 (kJ/kg^0 C)	3,78

Tabla 3.5. Datos calentadores.

Datos	Valores
Calentador de jugo clarificado	
Presión de vapor alim (kg/cm²)	1,7577
Temp entrada (°C)	95
Temp salida (°C)	117
Concentración entrada (°Bx)	14,5
Flujo JC(Kg/h)	404187.31
Capacidad calorífica (Cpc), kJ/kg*ºC	3,844
Calor latente (λv), kJ/kg	2214,48

Tabla 3.6. Datos para turbogeneradores.

Datos	Valores
Turbogeneradores	
Presión de entrada (Kg/cm²)	17,5
Presión de salida (Kg/cm²)	1,7577
Producción (kW-h)	4000
Capacidad nominal kW-h	4000
Eficiencia termodinámica %	80

Tabla 3.7. Resultados de los balances de vapor.

Parámetros	Resultados
Consumo de vapor del pre-evaporador 1 (kg/h)	34813,52
Consumo de vapor del pre-evaporador 2 (kg/h)	34813,52
Consumo de vapor del pre-evaporador 3 (kg/h)	62746,84
Consumo de vapor del calentador JC (kg/h)	15436,40
Consumo de vapor de N. Tecnológicas (kg/h)	155391,91
Consumo de vapor Motores primarios (kg/h)	151632

Consumo de vapor de Otras necesidades (kg/h)	7581,6
Consumo de vapor de la válvula reductora (kg/h)	3759,91
G. caldera (kg/h)	171122,18

Como muestran los resultados de la tabla 3.7 es pequeño el flujo que pasa por la válvula reductora esto se debe a que el vapor de escape proveniente de los turbogeneradores satisface totalmente las necesidades tecnológicas. Actualmente hay un desaprovechamiento de la energía del vapor, dado que el consumo de vapor requerido por el proceso (Gcald) es solo el 65,8% de la capacidad de generación de vapor instalada.

Tabla 3.8. Resultados de los balances de agua.

Consumo de agua de reposición, kg/h	23311
Porcentaje de agua de reposición, %	13,62

El porcentaje de recuperación de condensado tiene un comportamiento en correspondencia con el porcentaje reportado (< 15 %) por Espinosa (2014), ya que se envía a calderas todo el condensado del vapor de escape.

Tabla 3.9. Datos termodinámicos para balance de calor.

Caldera	
Entalpia del vapor sobrecalentado (iv_S), (kJ/kg)	3076,80
Necesidades tecnológicas	
Entalpia del vapor de escape(iv_e),(kJ/kg)	2697
Entalpía del agua saturada(ia_s), (kJ/kg)	484,86
Presión de escape (Pe), (kg/cm²)	1,757
Potencia	
Entalpía del vapor de escape(iv_e), (kJ/kg)	3076,80
Entalpía del vapor sobrecalentado (iv_S), (kJ/kg)	2697
Condensados	
Temperatura del condensado (Tc), (^{0}C)	98
Entalpía del agua saturada(ia_S), (kJ/kg)	410,61
Otros	

Presión del vapor (Pv), (kg/cm²)	17,5
Entalpía del vapor(iv_{otros}), (kJ/kg)	3076,80

Tabla 3.10. Resultados del balance de calor.

Parámetros	Resultados
QCaldera, MJ/h	5265087,75
QNesecidades tecnologicas, MJ/h	343748,67
QPotencia, MJ/h	57589,83
Qotras nesecidades MJ/h	23327,07
QCondensados, MJ/h	60692,39
Qpérdidas, MJ/h	41150,79

Las siguientes ecuaciones son para conocer la distribución de energía.

Ec 3.12

Ec 3.13

Ec 3.14

Ec 3.15

Ec 3.16

A continuación, se muestran los resultados de la distribución de calor y lo que reporta la literatura para estos indicadores.

Tabla 3.11. Resultados de la distribución de calor.

Distribución	Calculado	Reportado Espinosa (1999)
Potencia	10,93	5-7
Proceso	65,29	68-85
Condensado	11,53	8-15
Pérdidas y otros	12,25	7-10

Como se observa en la Tabla 3.11 los porcentajes de distribución de la energía se encuentran en los rangos de los valores reportados, excepto en la energía utilizada en potencia.

3.6 Establecimiento de indicadores para el monitoreo y medición del desempeño energético.

En la tabla 3.12 se muestran los indicadores para el monitoreo del desempeño energético calculados a través de las ecuaciones correspondientes.

Tabla 3.12. Indicadores para el monitoreo del desempeño energético.

Indicadores	Resultados
Consumo especifico de vapor (kgv/kgb)	2,48
Generación específica de electricidad(kWh/tc)	41,74
Consumo específico de electricidad (kWh/tc)	7,024
Consumo especifico de vapor (kgv/kWh)	10,7
Consumo especifico de bagazo (kgb/kWh)	31,56
Porcentaje de flujo de vapor por v reductora (%)	2,2
Porcentaje de flujo de agua de reposición (%)	13,62
Porcentaje de pérdidas de calor (%)	7,82
Eficiencia térmica (%)	92,18
Eficiencia de generación (%)	65,82
Consumo de vapor de baja presión (% caña)	40,54
Consumo especifico de vapor (tv/tc)	0,45
Consumo especifico de energía (MJ/ta)	30350,96
Consumo especifico de bagazo(tb/ta)	7,28
Consumo especifico de vapor (tv/ta)	9864,46
Consumo especifico d energía (MJ/tc)	1373,50
Índice de consumo de agua (m^3/tc)	0,96

De acuerdo con los resultados obtenidos de los indicadores calculados representados en la tabla 3.12, en comparación con los que reporta la fábrica en la tabla 3.1 (Generación especifica de electricidad, consumo especifico de electricidad y consumo de agua fresca) difieren del valor normado. Es alto el consumo de agua en los enfriaderos de la industria.

3.7 Determinación de las pérdidas de recursos materiales y financieros.

Las pérdidas de recursos materiales y financieros en un central azucarero están dadas por:

- Pérdidas de combustible

Pérdidas de calor:

Ec 3.17

El precio de 1 tonelada de bagazo es de $ 143,7

Por tanto:

De acuerdo con el resultado obtenido podemos concluir que se pierde 14207,08 t/año de bagazo de caña y equivale a 204155,510 $/ año.

Tabla 3.13: Determinación de los ahorros potenciales de bagazo

Recurso	Pérdidas		Ahorro	
	kW	t/h	Bagazo (t/a)	$/año
Bagazo	11430,77	5364	14207,08	2041555,510

Conclusiones Parciales:

1. Los indicadores de desempeño energético propuestos contribuyen a un mejor control del proceso y al establecimiento de una línea base energética, no definida actualmente, atendiendo que la industria solo reporta dos relacionados con la energía eléctrica y uno con el agua
2. Actualmente hay un desaprovechamiento de la energía del vapor, dado que el consumo de vapor requerido por el proceso es solo el 65,8% de la capacidad de generación de vapor instalada
3. Los porcentajes de distribución de la energía en la industria se encuentran en el rango de los valores normados.

4. Existe un comportamiento inestable de la molienda, producción de azúcar, la generación y el consumo de electricidad durante todo el periodo de zafra, lo cual dificulta la adopción de indicadores de desempeño energético para una línea base energética.
5. Se estima un ahorro potencial anual de recursos energéticos con un valor de 2 041 555 pesos que permite evaluar la factibilidad de proyectos de inversión en mejoras en el uso de la energía.

Conclusiones

1. Los indicadores de desempeño energético propuestos contribuyen a un mejor control del proceso y al establecimiento de una línea base energética, no definida actualmente, atendiendo que la industria solo reporta dos indicadores relacionados con la energía eléctrica y uno con el agua.
2. Actualmente hay un desaprovechamiento de la energía del vapor, dado que el consumo de vapor requerido por el proceso es solo el 65,8% de la capacidad de generación de vapor instalada.
3. Existe un comportamiento inestable de la molienda, producción de azúcar, la generación y el consumo de electricidad durante todo el período de zafra, lo cual dificulta la adopción de indicadores de desempeño energético para una línea base energética.
4. Se estima un ahorro potencial anual de recursos energéticos con un valor de 2 041 555 pesos que permite evaluar la factibilidad de proyectos de inversión en mejoras en el uso de la energía.

Recomendaciones

1. Instalar los instrumentos de medición necesarios para facilitar el control del proceso, disminuyendo así los riesgos de accidentes y pérdidas de recursos materiales y energéticos.
2. Aplicar aislante térmico a las tuberías y los pre evaporadores, que lo necesiten, para un mejor aprovechamiento del calor, contribuyendo a minimizar el impacto ambiental.
3. Aplicar sistemáticamente el conjunto de indicadores para el control del proceso y medición del desempeño energético.

Referencias bibliográficas

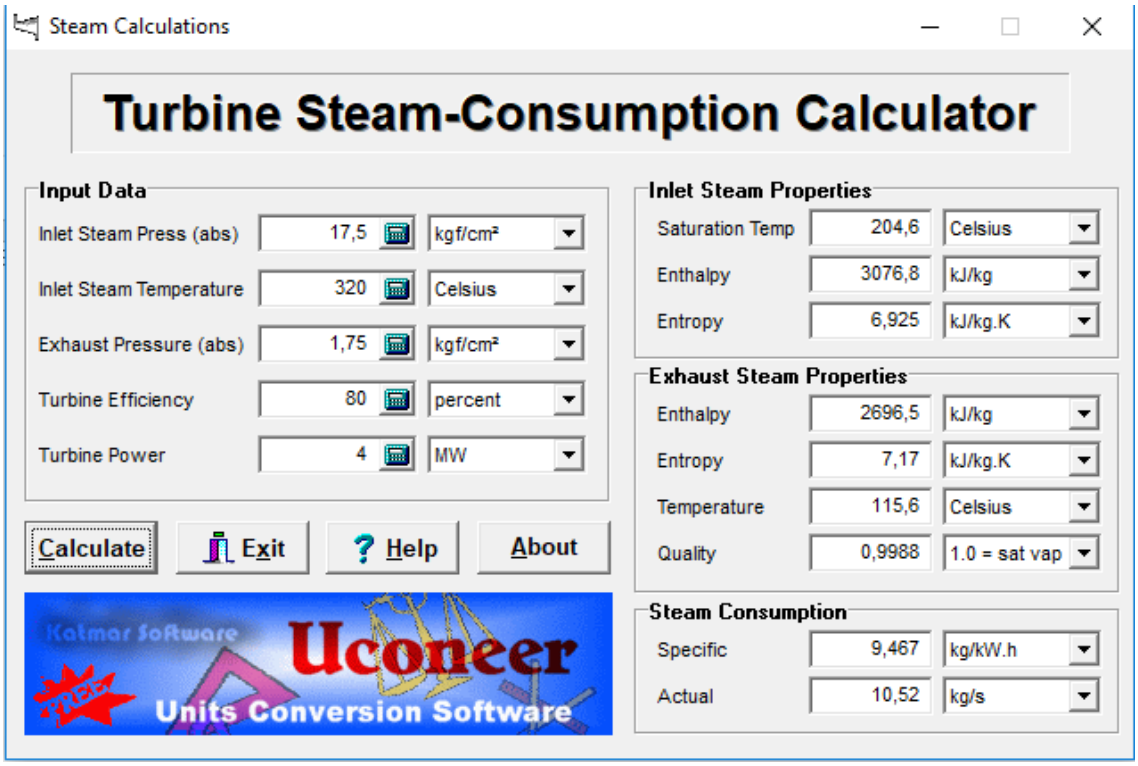
1. NC-ISO 50001. 2011. Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso. La Habana: Oficina Nacional de Normalización (NC). pp 11-18.
2. Arcias, J. 2014. Propuesta de alternativas de mejoras tecnológicas en la UEB "Antonio Sánchez". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. pp 22-43.
3. Borroto, A. E. 2002. Gestión Energética Empresarial, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos.
4. Borroto, A. E. 2006. Gestión energética en el sector productivo y los servicios, Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.
5. Campos, A. 2015. Cogeneración.
6. CITMA 1998. Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producciones mas limpias. Alternativas para el aprovechamientoeconómico de residuales
7. CNEE. 2010. Diagnósticos energéticos. FIDE [Online]. Available: www.cnee.gob.gt.
8. Coakled, T. 2010. Uso de la energía en el sector industrial [Online]. Available: www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES_PARA.../Manual_industria.pdf.
9. CONAE 2011. Diseño de sistemas de cogeneración, México, Amacalli Editores. SA.
10. EGRANCONEL. 2006. Optimizar la eficiencia energética en la industria del ecuador [Online]. Available: www.Egranconel.com
11. Espinosa, R. 1991. Sistemas de utilización del calor en la industria azucarera, Ediciones ENPES. 443 p.
12. Espinosa, R. 2014. Gestión Energética Eficiente y Análisis de los Sistemas Auxiliares en las Plantas Químicas, Samuel Feijóo. 304 p.
13. Espinosa, R. 2016. Algunos índices usados en la producción del azúcar de caña. Universidad Central "Marta Abreu"de las Villas. 31 p.
14. FAQS. 2017. Frequently Asked Questions (FAQs) on Biomass [Online]. Available: http://www.mnre.gov.in.
15. Fernández, K. A. 2013. Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológicas para biorrefinerías en una industria de la caña de azúcar. Universidad Central Martha Abreu de las Villas.
16. García, Y., López, Y., Benítez, A. 2014. Optimización del sistema energético de un central azucarero para maximizar el excedente de bagazo. Revista Avanzada Científica. Matanzas. pp 1-4.
17. González, M. 2015. La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes, New York. pp 23-25.

18. González, M., Abreu, H., Rico, O., Zamora, M., Espinosa, R. 2016. Análisis energético y exergético de esquemas de cogeneración para la industria azucarera. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana: Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar. pp 3-6.
19. GUTIERREZ, H. R. 2003. El mercado mundial del azúcar.
20. Heijungs, R. 1992. Environmental life cicle assessment of products, Cuter of environmental science.
21. Hernández, M. L. 2010. Los diagnósticos energéticos [Online]. Available: www.fonanperu.org
22. Hugot, E. 1986. Handbook of cane sugar engineering, New York, Elsevier Science. 793 p.
23. ICIDCA 1980. Los derivados de la caña de azúcar.
24. IPROYAZ 2017. Plan Director Central Uruguay.
25. Jayes, W., Wilson, H. 2002. Turbine Steam-Consumption Calculator. 2.1 ed.
26. KEENAN, J., KEYES, F, HILL, P 1990. Steam Tables (Termodynamic Properties of water including Vapor, Liquid and Solid Phases). pp 2-14.
27. Kern, D. Q. 2005. Procesos de Transferencia de Calor, La Habana, Editorial Félix Varela.
28. La Rosa, A. I., Pérez, C. 2014. Evaluación termoenergética del sistema de generación de vapor en la UEB "Panchito Gómez Toro". 4to año trabajo de producción, Universidad Central "Marta Abreu"de Las Villas. pp 35-51.
29. LOPEZ, E. M. & VERA, A. 1983. Mínimo técnico de azúcar crudo y refino.
30. Lozowski, D. 2016. Economic Indicators, Plant Cost Index, Chemical Engineering International Edition.
31. Mckeen, L. 2003. Alternativas para la integración energética de la fábrica de papel de Damují. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
32. Menes, S. 2013. Prefactibilidad técnico-económico para la generación de energía eléctrica en el central Antonio Sánchez. Universidad Central Martha Abreu de las Villas.
33. MINAZ 1998. Estudio del consumo de agua. In: MINAZ (ed.). Santiago de Cuba. pp 2-6.
34. Nordelo, A. B. 2013. Recomendaciones metodológicas para la implementación de sistemas de gestión energética según la norma ISO 50001.
35. Pavlov, K. F. 1981. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aspectos en tecnología química, Moscú, Editorial Mir.
36. Pérez de Alejo, H. E. 2014. Sistema Termo Azúcar v 4.1. Manual de usuario. . 4.1 ed. La Habana: Univesidad de Ciencias Informáticas.
37. Pérez de ALEJO, H. E. 2016. Proyecto Ip-Pr1: Caracterización, Simulación, Evaluación y Propuesta de Mejoras para un STE. 12 p.
38. Perry, R. H. 1997. Perry's Chemical Engineers Handbook.

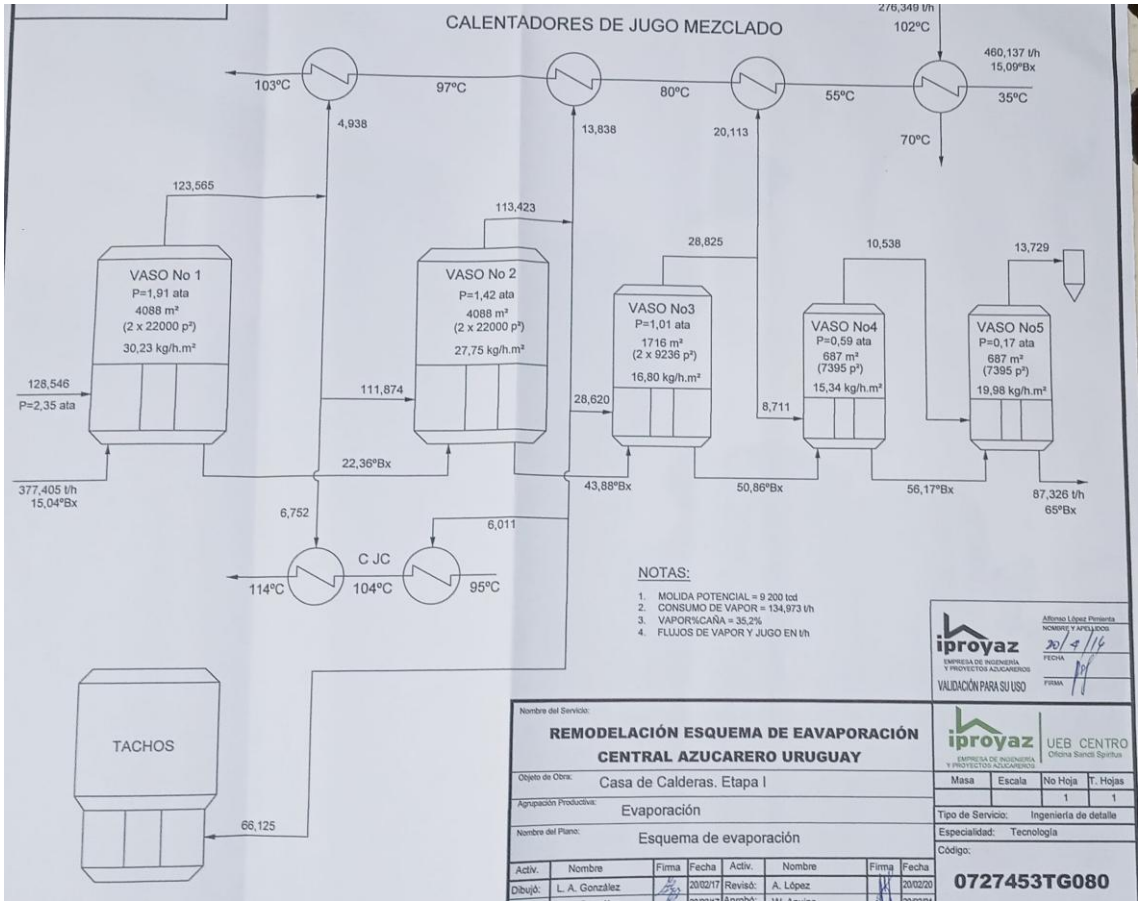
39. Puerta, J. F., Castellanos, J. A., González, F. 2003. Método de Análisis para realizar estudios de integración energética entre procesos de fabricación de Azúcar Crudo, Pulpa y Papel de Bagazo. Ediciones MECANICA. Cienfuegos. pp 87-94.
40. Rein, P. 2012. Ingeniería de la Caña de Azúcar, Verlag Dr. Albert Bartens. 860 p.
41. Rodríguez, P. 1997. Manual de cálculo rápido para la industria azucarera, Ministerio de Economía y Planificación. p 10.
42. TURBINE, B. P. 2003. Disponible en: http://www.backpressureturbine.com
43. Valdés, A. 2009. Biomasa de la caña de azúcar para transporte.
44. Word, M. 2015. The Cost of Producing Electricity [Online]. Available: http://www.maintenanceworld.com/the-cost-of-producing-electricity/.
45. Zanz, D. 2014. Análisis y optimización exergética de una planta de cogeneración para la industria azucarera. Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. p 23.

Anexos

Anexo 1: Resultados obtenidos al correr el software Turbine.



Anexo 2: Registro de caña molida, producción de azúcar, producción y consumo de electricidad.

Molienda de caña (t/d)	Producción de azúcar en el mes de febrero(T/d)	Producción de electricidad MW/d	Consumo de electricidad(MW/d)
4554,29	459,008	168,221	14,692
3794,88	334,6	138,247	25,399
5129	417,51	197,902	21,262
4991,67	577,58	172,191	12,009
5703,97	513,88	195,44	10,59
2388,14	251,96	110,802	17,379
2100,84	286,23	78,526	19,396
4922,67	482,57	179,242	12,739
3614,64	404,44	130,776	21,16
4739,84	475,62	174,03	14,192
4543,49	454,35	150,014	27,194
5741,25	533,31	215,578	10,844
2501,62	294,44	87,363	21,002
4319,98	376,36	146,892	20,419
4432,06	471,25	158,472	21,189
4500,62	507,99	158,033	17,417
4530.44	474,35	163,27	18,409
2506,95	281,1	94,177	15,937
4211,78	423,58	142,609	15,123
3636,79	369,75	118,167	20,632
3611,41	389,21	131,69	25,287
2502,63	223,87	71,934	24,856
0	0	0	15,695
3559,23	293,78	118,981	30,331
3398,33	170,53	108,883	27,648
2983,36	158,2	77,667	64,625
2630,66	238,63	129,382	18,85
3966,5	302,79	131,209	21,678

Anexos 3: Esquema de la sección de evaporación del central con sistema Bauza.