

---

# *Reconversión de la agroindustria azucarera a través de la aplicación de una estrategia de modificación de las instalaciones auxiliares*

\*María de Lourdes de la Cruz Aragoneses<sup>1</sup>, Martha Nápoles García<sup>2</sup>, Janet Hernández Carbó<sup>3</sup>.

<sup>1, 2, 3</sup>Universidad de Camagüey, "Ignacio Agramonte y Loynaz", Camagüey, Cuba

---

*Sugar industry reconversion through implementation of a strategy of modification of the auxiliary facilities*

*Reconversió de l'agroindústria sucrera a través de l'aplicació d'una estratègia de modificació de les instal·lacions auxiliars*

*Recibido: 10 de febrero de 2013; revisado: 30 de mayo de 2013; aceptado: 14 de octubre de 2013*

## **RESUMEN**

El resultado de la investigación es el desarrollo y aplicación de una estrategia de modificación de las instalaciones auxiliares para la reconversión de la industria de procesos agroindustriales. En la estrategia desarrollada se integran elementos del Análisis Complejo de Procesos tanto durante las etapas exploratorias, análisis de alternativas y en la toma de decisiones, tales como la aplicación de la teoría de la incertidumbre, estudios de fiabilidad, integración mísica y energética, análisis de riesgos, disponibilidad de las instalaciones y estudios de viabilidad económica y ambiental. Se elabora con el estudio de la Empresa Mielera Siboney en la provincia de Camagüey durante su período de explotación, utilizando herramientas para detectar puntos débiles que precisan hacia dónde dirigir las modificaciones tecnológicas y las nuevas inversiones o innovaciones a realizar, además de evaluar el impacto de las modificaciones de las instalaciones auxiliares de manera que beneficie la reconversión para sostener nuevas producciones. Aporta soluciones e informaciones útiles para la mejor definición de los objetivos de intensificación e integración de los procesos en su reconversión, así como la retroalimentación con vistas a la rehabilitación continua de la industria química y en especial la industria azucarera.

**Palabras claves:** Disponibilidad; instalaciones auxiliares; fiabilidad; incertidumbre; reconversión.

## **SUMMARY**

The investigation result is the development and application of a modification strategy of the auxiliary facilities for the reconversion of the chemical industry. In the developed strategy are integrated elements of the Processes Complex Analysis during the exploratory stages, analysis of alternative and in the taking of decisions, such as the application of the theory of the uncertainty, studies of reliability; mass and energetic integration, risks analysis, readiness of the facilities and studies of economic and environmental

feasibility. It is elaborated from the study of the Siboney industry in the province of Camagüey, during its exploitation period using tools to detect weak points which indicate the way to carry out the technological modifications and the new investments or innovations, in addition to evaluate the impact of modifications of the auxiliary facilities so that it benefits reconversion to sustain new productions. It provides solutions and useful information for the best definition in the objectives of intensification and integration of the processes in their reconversion, as well as the feedback with a view to the continuous rehabilitation of the chemical industry and especially the sugar industry.

**Key words:** Availability, auxiliary facilities, reliability, uncertainty, reconversion.

## **RESUMEN**

El resultat de la investigació és el desenvolupament i aplicació d'una estratègia de modificació de les instal·lacions auxiliars per a la reconversió de la indústria de processos agroindustrials. En l'estratègia desenvolupada s'integren elements de l'Anàlisi Complex de Processos tant durant les etapes exploratòries, ànalisi d'alternatives i en la presa de decisions, com ara l'aplicació de la teoria de la incertesa, estudis de fiabilitat, integració màssica i energètica, ànali de riscos, disponibilitat de les instal·lacions i estudis de viabilitat econòmica i ambiental. Es treballa amb l'estudi de l'Empresa Mielera Siboney a la província de Camagüey durant el seu període d'explotació, utilitzant eines per detectar punts febles que indiquen cap on dirigir les modificacions tecnològiques i les noves inversions o innovacions a realitzar, a més d'avaluar l'impacte de les modificacions de les instal·lacions auxiliars de manera que beneficiï la reconversió per sostener noves produccions. Aporta solucions i informacions útils per a la millor definició dels objectius d'intensificació i integració dels processos en la

---

\*Autor para la correspondencia:  
maria.delacruz@educ.edu.cu

seva reconversió, així com la retroalimentació amb vista a la rehabilitació contínua de la indústria química i especialment la indústria sucrera.

**Paraules claus:** Disponibilitat; instal·lacions auxiliars; fiabilitat; incertesa; reconversió.

## INTRODUCCIÓN

La industria de procesos en Cuba se caracteriza por su escaso desarrollo y alto grado de obsolescencia. Está constituida fundamentalmente por la industria azucarera e industrias de producciones básicas con muchos años de explotación y un alto grado de deterioro.

Desde la década del 80 hasta la actualidad se han realizado numerosos estudios relacionados con la mejora de la industria de procesos químicos y fermentativos, con vistas a lograr mayores beneficios económicos, lo que contribuyó además a diversas soluciones en instalaciones industriales del país y desarrollar una amplia concepción de la aplicación del Análisis Complejo de Procesos en la estrategia de desarrollo de esta. Sin embargo los necesarios avances en la consideración de los problemas ambientales, la necesidad del sustento energético y la reconversión de instalaciones industriales en busca de una reanimación en sectores tan importantes como la industria de la caña de azúcar, obligan a abordar la modernización, reconversión y reordenamiento de las mismas con un ángulo más detallado, en lo que cobra especial interés los procesos que garantizan las facilidades auxiliares para el buen desempeño industrial, que están influidos en gran medida por la calidad de las aguas, la corrosión de los equipos, tuberías, accesorios y en específico en todo lo relacionado con la eficiencia energética de los sistemas auxiliares en su vínculo con los procesos tecnológicos principales.

La atención a estos problemas en su conjunto, al menor costo posible, con un enfoque más integrado es ahora un requerimiento en los procesos de reconversión industrial, pues en la base de la asimilación de nuevas tecnologías de forma competitiva está el aprovechamiento de los sis-

temas de generación de vapor, electricidad, aire y agua de forma económica y sin tener que realizar nuevas inversiones altamente costosas [2], [5], [6], [7], [10], [15], [14].

Hipótesis: Es posible garantizar la rehabilitación continua de la industria, bajo condiciones de explotación, si se aplica una estrategia de modificación de las facilidades auxiliares que contemple de forma integrada las causas de la incertidumbre en los balances de masa y energía asociados a indisponibilidad de la instalaciones y esquemas auxiliares motivado por los problemas de corrosión e incrustaciones asociados a la calidad de las aguas, la fiabilidad en el mantenimiento, y al logro de políticas operacionales flexibles teniendo en cuenta los cambios del entorno.

El objetivo general de la investigación es: Desarrollar una estrategia de modificación de las facilidades auxiliares centrada en el análisis de riesgos por indisponibilidad en las industrias de procesos, con vistas a posibilitar la reconversión de las instalaciones principales logrando incrementos de los valores de producción con una marcada sustentabilidad energética, flexibilidad operacional y compatibilidad ambiental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### FUNDAMENTACIÓN Y CONCEPCIÓN DE LA ESTRATEGIA PARA LA MODIFICACIÓN DE LAS FACILIDADES AUXILIARES EN LA RECONVERSIÓN DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA Y AZUCARERA

Se ha podido constatar durante el estudio de estrategias y procedimientos desarrollados por diferentes autores pertenecientes al Centro de Investigación de Análisis de Procesos en la Universidad Marta Abreu de Las Villas, en Cuba [2], [8], [14] que los problemas de fiabilidad en generadores de vapor, en ocasiones se asocian a problemas de corrosión y formación de incrustaciones en las superficies de intercambio calórico de dichos equipos, siempre presentes como facilidad auxiliar de cualquier industria de procesos, y que no han sido tratados anteriormente a la hora de abordar el cumplimiento o no de los ciclos de limpieza y la efectividad del Mantenimiento Preventivo.

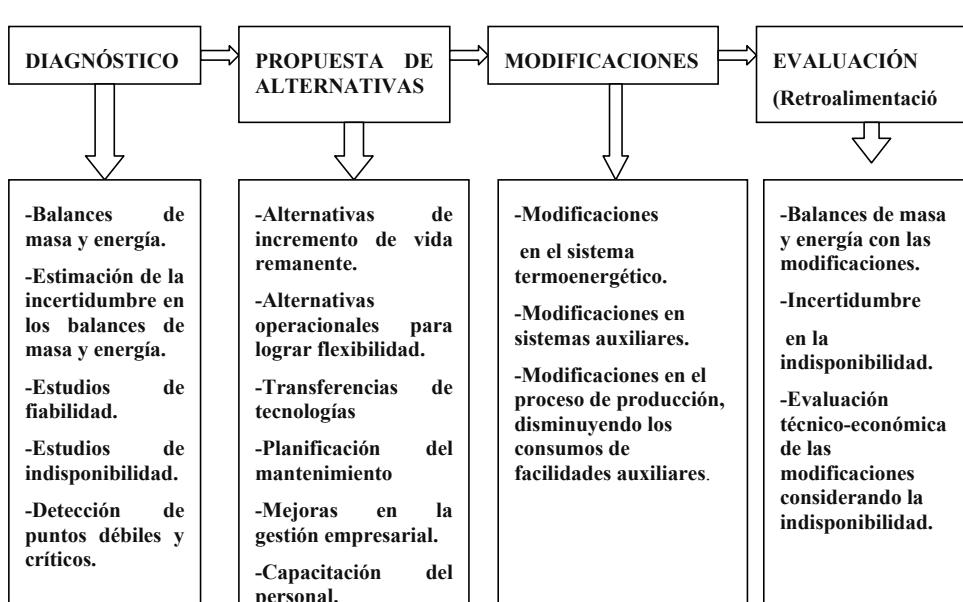


Figura 1. Bases teóricas y metodológicas en la concepción original de la estrategia de modificación de las facilidades auxiliares.

En las estrategias o procedimientos desarrollados hasta el momento para la reconversión industrial no se reportan estudios sobre la clasificación de los fallos y el cálculo de indicadores de fiabilidad durante la operación de una industria de procesos, reflejando con claridad la situación real que puede presentar el mantenimiento en cada industria.

Las estrategias reportadas no incluyen el análisis de efectividad del mantenimiento centrado en la fiabilidad utilizando como factor de riesgo la indisponibilidad, denominado análisis RM(reliability, availability, maintainability) tanto durante la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos como durante la explotación de las instalaciones lo que contribuye a la rehabilitación continua de la disponibilidad propiciando la reconversión como vía de sustento de la diversificación o para la intensificación de la producción.

Se procede a elaborar una estrategia que integra aspectos de la incertidumbre de las mediciones en los balances de masa y energía con la indisponibilidad industrial y con elementos de fiabilidad operacional así como su influencia en el proceso inversionista de la industria.

Se toman como antecedentes los estudios realizados en la Empresa Mielera Siboney durante varias zafras, antes y después de las modificaciones desarrolladas por IPROYAZ (Instituto de Proyectos Azucareros), evaluando la eficiencia y eficacia de las modificaciones en el sistema productivo y en las facilidades auxiliares para rehabilitar la industria con fines de reconversión en la integración con nuevas producciones.

Las modificaciones que se han realizado por parte de esta institución autorizada han coincidido básicamente con los puntos críticos y débiles del sistema de producción y sus sistemas auxiliares, que han sido detectados durante los estudios realizados, lo que corrobora y valida además la estrategia desarrollada.

Se parte de la concepción de las principales etapas y sistema de acciones, figura 1.

## RESULTADOS

### ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS VARIABLES ASOCIADAS A LOS BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

La incertidumbre en el análisis de situaciones propias de la industria de proceso está vinculada al estudio de los fenómenos de naturaleza aleatoria, así como a procesos en los cuales las principales variables y parámetros del mismo se desconocen de modo general, porque se dispone de poca información o por el efecto que el entorno ejerce sobre él [1].

Las técnicas de Monte Carlo [1],[13], brindan la posibilidad de analizar las variaciones a las que están sometidos los procesos químicos, en cuanto a los materiales, los datos, las condiciones de operación en el comportamiento del proceso para realizar el cálculo de los balances de masa y energía considerando la incertidumbre.

El método de Monte Carlo, en esencia se basa en un muestreo simulado de las variables que en un proceso se consideran aleatorias [9], [13].

Utilizando las variables de proceso más sensibles ya seleccionadas en trabajos realizados previamente[14],[16] se tomaron muestras que están presentes en el análisis de un sistema termoenergético azucarero (STEA), ya que

se dispone de una herramienta de simulación para estos fines, el simulador TERMOAZÚCAR.

Lo primero que se realiza es el análisis del comportamiento de las siguientes variables: presión de vapor directo (Pvd), presión de vapor de escape (Pve), temperatura del agua de alimentación (Tagalim), para detectar cuál es la ley de probabilidad asociada a cada una de ellas. Se utiliza para ello el programa Arena, software diseñado para el análisis de sistemas para procesos de naturaleza aleatoria y eventos discretos.

Posteriormente se determinan las funciones de distribución probabilísticas de cada una de las variables relacionadas con anterioridad, y se realizan las pruebas de bondad del ajuste del Chi cuadrado y Kolmogorov – Smirnov. Utilizando los software Excel y Arena, se generan las muestras de cien valores de cada variable y se introducen en el software Termoazúcar con el fin de hallar cien valores finales de las variables de salida: **azúcar comercial, miel final y bagazo sobrante**.

El Excel se utiliza porque permite visualizar los valores generados, mientras que el Arena permite realizar las pruebas de bondad de ajuste pertinentes a estas muestras generadas con resultados satisfactorios.

Luego estos cien resultados se tratan estadísticamente, determinándole la media, la varianza, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación.

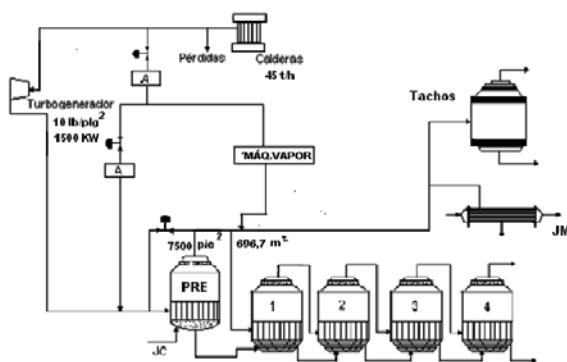
La incertidumbre estándar combinada será igual a la media  $\pm$  el error estándar con un 95% de confianza.

A continuación se calcula el flujo de caja neto (FCN) considerando los límites inferiores y superiores con presencia de incertidumbre.

Con la propagación de la incertidumbre se logran conocer los resultados reales ya realizados por los inversionistas y determinar el rango de trabajo de las variables más sensibles (caña, temperatura del agua de alimentación de la caldera, presión de vapor directo, presión de vapor de escape).

Estos valores representan el rango de variaciones tanto de la disponibilidad como la demanda y esto tiene una influencia importante en los estudios inversionistas en aras de lograr resultados más reales en los cálculos económicos.

Al comparar el flujo de caja neto del mínimo con el flujo de caja neto del máximo se observa el rango en el cual debe oscilar el flujo de caja neto para el caso que se analiza o la variante que se propone. En la figura 2 aparece el Diagrama de Flujo de Proceso antes de la reconversión.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso antes de la reconversión en la Empresa Mielera Siboney (caso base).

Los resultados que se presentan se refieren a la situación que presentaba la industria antes de la reconversión (caso base), y los resultados del flujo de caja neto para un mínimo y un máximo aparecen reflejados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados del flujo de caja neto en presencia de incertidumbre para un mínimo

Material	Producción (t/año)	Precio (\$/t)	Valor obtenido (\$/año)
Azúcar crudo	22511.79	630.95	14203813.90
Miel	7466.79	60	448007.4
Electricidad	4800	90	432000
Bagazo sobrante	16548.21	8.05	133213.09
FCN	-----	-----	3510903.59

Tabla 2. Resultados del flujo de caja neto en presencia de incertidumbre para un máximo

Material	Producción (t/año)	Precio (\$/t)	Valor obtenido (\$/año)
Azúcar crudo	30450	630.95	19212427.5
Miel	9021.43	60	541285.8
Electricidad	4800	90	432000
Bagazo sobrante	28099.28	8.05	226199.20
FCN	-----	-----	4577912.5

#### ANÁLISIS DE LA VIDA REMANENTE A TRAVÉS DE LA EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LOS ESTUDIOS DE FIABILIDAD, EN LA ZONA CORRESPONDIENTE A LAS FACILIDADES AUXILIARES

La zona correspondiente a las facilidades auxiliares, como se ha detallado anteriormente está constituida por el generador de vapor o caldera, él o los generadores eléctricos y se incluye, la planta de tratamiento de aguas para la reposición de esta a la producción del vapor. Al procesar las muestras de fallos se detecta un gran número de ellos asociados al generador de vapor y se procede al estudio de sus causas.

Se comienza a explorar en aquellas que limitan o entorpecen la función principal del mismo y que pudieran estar asociadas a la calidad de la materia prima fundamental para la generación de vapor que es el agua, entre ellos se encuentran los problemas de corrosión y formación de incrustaciones en las superficies de intercambio calórico, que entorpecen la transferencia de calor y provocan roturas por sobrecaleamientos excesivos, y las pérdidas de calor y consumo adicional de combustible que estas pueden producir, de aquí se derivan los pasos generales

que facilitan la evaluación de dichos problemas y que se resumen en:

1. Definición del problema y sus causas.
2. Determinación de la intensidad del problema (si se corresponde con la presencia de corrosión y/o formación de incrustaciones.)
3. Definición de la morfología del problema.
4. Estimado de las pérdidas energéticas y económicas.
5. Evaluación de la planta de tratamiento externo, la deaireación térmica y el tratamiento interno.
6. Propuestas de vías de solución.
7. Valoración de las mejoras.

Se demuestra la efectividad del tratamiento magnético en la disminución de la corrosión y en el incremento de vida útil de las superficies metálicas expuestas, mejorando la influencia sobre la formación de incrustaciones al obtenerse superficies limpias, con una deposición ligera no incrustante en forma de fina arenilla. Se obtienen los parámetros cinéticos y de caracterización de las incrustaciones tales como: Velocidad de corrosión por pérdida de peso y por disminución del espesor, así como espesor y densidad de incrustaciones formadas, los cuales se determinan en estudios de campo exponiendo muestras en el agua sin tratamiento magnético y posteriormente en aguas tratadas mediante éste procedimiento, mostrándose en todos los casos una disminución significativa validada por el tratamiento estadístico a través de una prueba de hipótesis, cuyos resultados aparecen reflejados en la tabla 3.

#### VALORACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO COMO VÍA DE INCREMENTO DE LA VIDA REMANENTE DE LOS GENERADORES DE VAPOR Y MEJORAR LA CALIDAD DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para realizar este estudio se toma información a partir de la zafra 2000-2001 donde se instala por primera vez este dispositivo y se comienza su evaluación durante 8 zafras posteriores. En la referida zafra la caldera poseía una capacidad de generación de 45 t/h, con un agua de alimentación proveniente sólo de los condensados.

La evaluación se realiza antes del tratamiento magnético y posterior a él. Los resultados económicos de la efectividad del tratamiento magnético aparecen referidos en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis económico del efecto de la magnetización.

Costo de Reparación (\$/año) / número de fallos	Con Magnetización	Sin Magnetización
	0.23	1.36
Beneficio		83.08%

Tabla 3. Resultados de la prueba de hipótesis a los indicadores cinéticos para las aguas antes y después del tratamiento magnético.

INDICADORES	Aguas sin tratamiento magnético	Aguas con tratamiento magnético	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HIPOTÉSIS
DP( g/ m <sup>2</sup> h)	5,5799	0,08440	Significación estadística con un nivel $\geq 95\%$ de confianza
DE(mm/año)	6,2182	0,0058	Significación estadística con un nivel $\geq 95\%$ de confianza
ε de incrustaciones(m)	0,00013	0	Significación estadística con un nivel $\geq 95\%$ de confianza
Densidad de las deposiciones ( g / m <sup>2</sup> )	619,3946	93,1951	Significación estadística con un nivel $\geq 95\%$ de confianza

**Tabla 5. Comparación de los valores de la indisponibilidad promedio en la generación de vapor (Up) y sus factores influyentes, anteriores y posteriores a las modificaciones**

Condiciones antes y después de las modificaciones	Zafras analizadas (Z)	Up (%) (indisponibilidad)	TMPI (d)(tiempo medio perdido)	Frecuencia media de fallos (1/d)
Generador de Vapor (Antes)	Z = 2	10,12	16,16	0,8151
Generador de Vapor (Posterior)	Z = 2	6,0	9,6	0,2117
Porcentaje de disminución entre las zafra (%)		40,71	40,59	74,02

Con el empleo del tratamiento magnético se reporta un beneficio de un 83,08%, al disminuir el costo por reparación debido al incremento en la vida remanente de las instalaciones generadoras de vapor.

#### PUNTOS DÉBILES DE LOS SISTEMAS AUXILIARES Y SU EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

A partir de la profunda reestructuración realizada en la industria azucarera, IPROYAZ (INSTITUTO DE PROYECTOS AZUCAREROS) realiza un estudio integral del STEA (SISTEMA TERMOENERGÉTICO) del central Siboney, llevando a efecto un conjunto de modificaciones que van encaminadas a resolver los problemas en los puntos débiles detectados durante los estudios que se presentan, entre ellas se encuentran:

1. Sustitución de las máquinas de vapor de la planta moledora (tres máquinas de vapor) por motores eléctricos: tiene como propósito eliminar la obsolescencia de las máquinas de vapor (producen paradas debido a su mal estado técnico).
2. Montaje de un turbogenerador de 1 500 kW para contar con dos en la planta eléctrica: al instalar dos turbogeneradores, se produce un excedente de electricidad que puede ser vendido al SEN(Sistema Eléctrico Nacional). Además esta combinación debe garantizar la demanda de vapor del nuevo preevaporador a instalar.
3. Sustitución del pre-evaporador de 696.77 m<sup>2</sup> (7 500 pie<sup>2</sup>) de superficie por uno de 1006, 69m<sup>2</sup> (10 836 pie<sup>2</sup>) de superficie calórica. La molida debe ser más eficiente con la utilización de motores eléctricos y se aumentará de 1 840 t/día a 2 185 t/día (190 000 @/día).
4. Sustitución de la flusería y domos de la caldera RETAL existente, así como realizar las obras para el tratamiento químico y térmico del agua de alimentación a la caldera: posibilita obtener un vapor de mayor calidad y elevar los parámetros de operación de la caldera en el escape a 1667,131 kPa (17,96 kgf/cm<sup>2</sup>) de presión y 663,15K (390 °C) de temperatura.

#### PROCESO DE RETROALIMENTACIÓN PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LA INDISPONIBILIDAD DE LAS FACILIDADES AUXILIARES UNA VEZ IMPLEMENTADAS LAS MODIFICACIONES

Se calcula la indisponibilidad promedio como establece [12] y los dos factores que influyen sobre ella, que son el tiempo medio perdido por interrupciones y la frecuencia de fallos, como se muestra en la tabla 5 hay una disminución significativa de ambos, lo que denota la disminución del riesgo por indisponibilidad.

Teniendo en cuenta los efectos de éste indicador de explotación, dado por su nivel de riesgo o peligrosidad, la industria puede tomar decisiones sobre donde comenzar

a modificar o invertir en caso de ser necesario. Según los resultados obtenidos y plasmados en la tabla 5, se evidencia como disminuye la peligrosidad o la intensidad de riesgo, es decir como decrece la incertidumbre asociada a la indisponibilidad con las modificaciones realizadas en el generador de vapor que se detecta como punto débil dentro de las facilidades auxiliares.

Se calcula la efectividad del mantenimiento preventivo a través de los indicadores de fiabilidad una vez implementadas las modificaciones en el área de generación de vapor y se obtiene que la indisponibilidad causada por esta área disminuye de un 10% antes de las modificaciones a un 6% posterior a las mismas, y con una disminución de la frecuencia de fallos (indicador de fiabilidad) de un 74,02% corroborándose la eficacia de las mejoras introducidas en esta zona perteneciente a las facilidades auxiliares del sistema bajo estudio.

#### CONCLUSIONES GENERALES

1. La estrategia de modificación de las facilidades auxiliares permite garantizar un mejor resultado en la confiabilidad de los balances materiales y energéticos de las instalaciones de la industria azucarera y de procesos que se pretenden modernizar o reconvertir.
2. Los estudios de reconversión de instalaciones diversificadas de la industria azucarera deben profundizar a través de la metodología planteada en la minimización de la incertidumbre de los sistemas auxiliares de la industria productora de azúcar como base de facilidades auxiliares para las nuevas producciones diversificadas.
3. La valoración tanto cualitativa como cuantitativa de los indicadores de evaluación del mantenimiento preventivo centrado en la fiabilidad utilizando como factor de riesgo la indisponibilidad del sistema de producción, así como el estudio de la relación causa - efecto de las interrupciones indican de forma precisa las zonas o puntos críticos hacia dónde dirigir la modernización, reordenamiento o reconversión de las instalaciones industriales.
4. Se comprueba la validez de la estrategia planteada para los estudios de modificación de las facilidades auxiliares, debido a la concordancia de los resultados obtenidos con los propuestos por instituciones de reconocida experiencia y prestigio en la evaluación de alternativas, para lograr incrementos significativos en los indicadores básicos de producción, en los resultados de los Flujos de Caja Neto y en la disminución de los plazos de retorno de la inversión en el que se encuentre enfrascada la industria.

---

## AGRADECIMIENTOS:

Las autoras reconocen la colaboración de Instituciones de reconocido prestigio en el territorio de Camagüey para la obtención de los resultados, entre ellas: Empresa Mielera Siboney e Instituto de Proyectos Azucareros (IPROYAZ).

## BIBLIOGRÁFIA:

1. BEVERIDGE, G. S." Optimization: Theory and practice"/ G. S. Beveridge y R. S. Schechter. - McGraw- Hill, 1970.
2. CATA, Y. "Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria azucarera y sus derivados"/ Yenly Catá Salgado. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Santa Clara, 2006
3. DE LA CRUZ, M. (1999) "Análisis de los problemas de corrosión y formación de incrustaciones en la superficie de intercambio de calor de los generadores de vapor de los CAI Brasil y Argentina"/ María de Lourdes De la Cruz Aragoneses. Tesis de Maestría-Universidad de Camagüey.
4. DE LA CRUZ, M. L y col.(2008) "Estudio del efecto de la magnetización en la fiabilidad de la operación del generador de vapor de la empresa Mielera Siboney". Revista Centro Azúcar, ISSN 0253- 5777.
5. DE LA CRUZ, M. L "Valoración de la fiabilidad operacional en diferentes áreas de la Empresa Mielera Siboney", Tecnología Química, Memorias de la 19 Conferencia Internacional de Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2010
6. ESPINOSA, R. "Sistemas de utilización del calor"/ Rubén Espinosa [et, al]. - La Habana, 1988. -486p.
7. ESPINOSA, P Y Col. "La tecnología Pinch en el marco de la industria Química". Editorial Fijó. 2001. ISBN: 950-250-020-5777.
8. HERNÁNDEZ, J, P. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas: "Estrategia de evaluación tecnológica para la detección de puntos débiles en plantas de fraccionamiento de aire", Universidad Central Martha Abreu, Villa Clara, Cuba, 2008.
9. GONZÁLEZ, E. "La incertidumbre en el Desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar". Conferencia del Seminario Cuba- Río de Janeiro/ Erenio González Suárez. - Brasil, 2001
10. GONZÁLEZ, M. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas: "Impacto global de una tecnología más limpia en la fabricación de papel para ondular." (Mejor tesis de Ingeniería Química en el 2004), 2004.
11. MOJÍCAR, S.(2001)"Estimación de los índices de fiabilidad mediante el Análisis del flujo de fallo en los artículos reparables de la Industria azucarera"/ Centro Azúcar 28 (4): 58- 63, Octubre- Diciembre,2001
12. MOJÍCAR, S, (2004)"Procedimiento para el análisis da la indisponibilidad en la Industria azucarera"/ Centro Azúcar 31(1): 51-57, enero - Marzo, 2004.
13. NAPOLES, M. "Algunas aplicaciones de la simulación de STEA con el simulador TERMOAZÚCAR"/ Martha Nápoles García [et, al]. Revista Ciencia y Técnica. Universidad Tecnológica de Pereira. No10, 1999.
14. NÁPOLES, M, (2004) "Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversistas". Tesis para la obtención del grado científico de doctor en ciencias técnicas/2004.
15. OQUENDO, H. "Alternativas del desarrollo prospectivo de los derivados de la caña de azúcar"/ Hilda Oquendo Ferrer. Tesis para la obtención del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.-Camagüey: Universidad de Camagüey, 2002.
16. RIVERA, A. "Análisis de la fiabilidad operacional en la Empresa Mielera Siboney". Tesis para la obtención del grado científico de Máster en Análisis de procesos, Camagüey: Universidad de Camagüey, 2007- 93p.