



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

*Facultad de Química-Farmacía*  
*Departamento de Ingeniería Química*

**Título: Diseño del Sistema de Gestión Energética en la  
planta de Torula de la UEB Derivados Antonio Sánchez**

**Autora: Lisbet Dignora Velázquez Salgado.**

**Tutor: Dra. Meilyn González Cortés.**

**VC**  
**SANTA CLARA**

**“Año 58 del Triunfo de la Revolución”**



*Hay que trabajar para enriquecer los conocimientos adquiridos durante los estudios, para saberlos aplicar en la práctica de manera creadora y recordar que la realidad es siempre mucho más rica que la teoría, pero que la teoría es imprescindible para desarrollar el trabajo profesional de un mundo científico.*

*Fidel Castro Ruz.*

*Dedicatoria:*

*A mi Keila que es mi razón de ser.*

*A mi mamá y mi papá por su amor y ayuda brindada, ya que ellos han sido la fuente de inspiración para seguir adelante en esta carrera.*

## Agradecimientos:

*A mi tutor Meilyn González Cortes por su ayuda y sugerencias.*

*A todos los profesores de la Universidad Central de las Villas, y en especial al profesor Erenio González Suárez y Víctor González Morales, que con sus esfuerzos, han hecho posible esta maestría.*

*A mis padres, mi hija y esposo por su comprensión y apoyo en momentos que lo he necesitado.*

*A todos los colaboradores que de una u otra forma contribuyeron a la realización del trabajo.*

*A la Revolución y a Fidel por haberme dado la oportunidad de estudiar y superarme.*

***A TODOS MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO.***

## **RESUMEN.**

La presente investigación desarrolla la propuesta de un Sistema de Gestión Energética en la planta de levadura torula de la UEB Derivados de la Empresa Azucarera Cienfuegos, ubicada en el municipio Aguada de Pasajeros y responde a la creciente necesidad del ahorro de combustible que tiene el país.

En este trabajo, se realiza una propuesta de inversión para mejorar la gestión energética en la planta de Torula de la UEB Derivados Antonio Sánchez. La propuesta se obtiene una vez que se ha diseñado un sistema de gestión energética en el que se incluye el análisis inversionista para el mejoramiento de los principales indicadores energéticos del proceso en cuestión.

Como parte del estudio se analiza la influencia de la incertidumbre en los balances de masa y energía en la planta.

A partir del análisis estadístico de los datos se obtienen las variables de entrada que más influyen en el proceso y a través del método de Monte Carlo se determina la incertidumbre en las variables respuestas, utilizándose para ello el Excel y el software Statgraphics 4.1.

Se aplicaron herramientas de integración de procesos para la identificación de una mejor distribución de la energía, logrando con ello la reducción de los costos energéticos.

Finalmente se efectuó un análisis económico donde en una primera parte se valoraron parámetros fundamentales considerando tres alternativas con diferentes características y luego se evaluó la factibilidad del sistema de calentamiento diseñado mediante la determinación de los indicadores dinámicos económicos.

**INDICE**

RESUMEN

INTRODUCCCIÓN .....	1
CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	4
1.1. Usos de la levadura Torula .....	4
1.2. Análisis de Incertidumbre, su aplicación en la Industria. ....	7
1.3. Incertidumbre en los procesos químicos. ....	8
1.4. La Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía.....	9
1.5. Sistema de Gestión Energética. ....	13
1.6. Eficiencia Energética. ....	14
1.7. Manejo de la energía en la industria de procesos. ....	17
1.8. Integración de procesos en la Industria Química.....	18
1.9. Conclusiones Parciales. ....	20
Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula. ....	21
2.1. Introducción.....	21
2.2. Descripción del flujo tecnológico de la producción de Torula.....	21
2.3. Descripción de la metodología a emplear para los balances de materiales y Energía..	26
2.3.1. Cálculo de los Balance de Materiales y Energía. ....	28
2.3.1.1. Balance de materiales en los Fermentadores.....	28
2.3.1.2. Balance de materiales en las separadoras. ....	28
2.3.1.3. Balance de materiales en evaporación.....	30
2.3.1.4. Balance de materiales en secado. ....	30
2.3.1.5. Balance de materiales para la preparación de materias primas. ....	32
2.3.1.6. Balance de materiales en la dilución de miel. ....	32
2.3.1.7. Balance de materiales en la preparación de sales nutrientes. ....	32
2.4. Balance de energía.....	33
2.4.1. Balance de energía en pasterización de la miel diluida. ....	33
2.4.2. Balance de energía en el fermentador.....	34
2.4.3. Balance de energía en termólisis y concentración.....	35
2.4.4. Balance de energía en secado. ....	36
2.5. Balance de materiales y energía considerando la incertidumbre.....	36
2.6. Análisis de las posibles alternativas en la operación de secado. ....	43
2.7. Conclusiones Parciales. ....	44
Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula. ....	46
3.1. Integración energética en el proceso de producción de torula.....	46
3.2. Análisis Inversionista de las Alternativas.....	47
3.3. Determinación del costo total de la inversión (CTI). ....	53
3.4. Propuesta de suministradores de los recursos para la inversión. ....	55
3.5. Evaluación económica de parámetros fundamentales en diferentes escenarios.....	56
3.6. Conclusiones Parciales. ....	58
Conclusiones.....	59
Recomendaciones .....	60
Bibliografía:.....	61
Anexos	

## **INTRODUCCIÓN**

La fábrica de levadura torula perteneciente a la UEB Derivados Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros provincia de Cienfuegos, fue fundada en julio de 1977 de tecnología francesa , con el propósito de producir dicho producto a partir de miel final proveniente del CAI Antonio Sánchez , con una capacidad de producción de 40 toneladas por día, en la misma se elaboran productos fundamentalmente para consumo animal donde se encuentra la levadura torula seca y en crema, esta dedica el volumen de sus productos al mercado nacional.

Hasta el presente el consumo de energía ha sido valorado como un índice del progreso económico y social de los países. Por eso, durante mucho tiempo, las consecuencias ambientales de los patrones de consumo de energía, fueron dejadas a un lado. Sin embargo, en la actualidad el problema energético adquiere una importancia crucial, tanto en la satisfacción de la creciente demanda global, como en lo referente al impacto ambiental del actual sistema energético.

Encontrar una salida al problema energético global constituye hoy un reto colosal. La solución a mediano plazo está cifrada en el aprovechamiento a gran escala de las fuentes renovables de energía. No obstante existen soluciones a corto plazo menos costosas como el uso racional, suficiente y eficiente de los recursos energéticos disponibles.

La demanda energética es el resultado de la interacción de contextos sociales, culturales y tecnológicos.

Según **(Wilhite, 2003)** el consumo energético no está definido tanto por el comportamiento individual del consumidor, como por patrones de estilos de vida más bien colectivos. Sin embargo, una consecuencia de las modificaciones en estos estilos de vida es el comportamiento cada vez más creciente de la demanda para aparatos electrodomésticos, casas, automóviles, etc., no solamente en términos cuantitativos sino también cualitativos.

Es preciso transitar hacia el uso de energías alternativas, más livianas y menos impactantes, en el marco de la construcción de sociedades sustentables. De lo contrario, la vida de todo el planeta estará cada vez más amenazada.

Definitivamente, la salud del planeta está en manos del hombre y solo una concepción sostenible del uso y explotación de los recursos energéticos permitirá el desarrollo global sin arriesgar la propia existencia de la especie.

Uno de los principales problemas que se presentan en la industria moderna con más fuerza que nunca: es el costo de los combustibles. El constante incremento en los precios de los combustibles convierte a algunos procesos industriales en ineficientes. En muchos casos la

solución es eliminar estas tecnologías y diseñar nuevas plantas más eficientes, sin embargo, es posible realizar diversos cambios y hacer nuevamente eficiente el proceso.

La integración de procesos es un aspecto fundamental que repercute en un aumento de la eficiencia para los procesos que se integran. Los análisis de integración de procesos constituyen una herramienta eficaz para la reducción de los costos de producción, los insumos energéticos y materiales, sin embargo, ello generalmente requiere de sistemas costosos, pocas veces al alcance de una industria económicamente asediada. Usando las técnicas de integración podría ser posible identificar que un proceso puede usar el calor expulsado por una unidad anterior y reducir así el uso de la energía global.

En Cuba, desde 1965, se desarrolló el proceso de obtención de levadura torula a partir de miel final como fuente de energía, posteriormente se puso en práctica la tecnología para la obtención de la levadura torula a partir de vinaza, por ser esta un producto que representa un residual altamente contaminante al medio ambiente, este proceso se basa en la sustitución de la miel final de caña por la vinaza de destilería como sustrato orgánico. El entorno energético y ambiental actual en las fábricas de producción de torula hace imperativo la toma de acciones para reducir los costos de la energía.

Un tema de máxima prioridad en la planta de producción de torula de la UEB Derivados Antonio Sánchez en la provincia de Cienfuegos, fabricada por la firma francesa SPEICHIM , es el ahorro de combustible, principalmente en la etapa del secado de la levadura la cual presenta el mayor consumo del mismo.

La planta ha tenido que sufrir como el resto de las industrias el deterioro de su equipamiento tecnológico, lo que hace que su proceso productivo se vea afectado por interrupciones frecuentes que en ocasiones resultan prolongadas, además, como parte de los problemas para la producción de miel final del complejo, acompañados de la necesidad de emplear la misma para abastecer la fábrica de alcohol aledaña, la planta tuvo la necesidad de comenzar a utilizar como materia prima principal la vinaza, residuo del proceso de la destilación del alcohol, por lo que la fábrica se convierta en una planta de tratamiento de residuales que por un lado ha sido favorable para evitar la contaminación del medio en gran medida ya que mediante el tratamiento aerobio con levaduras se logra reducir el 50% de la carga orgánica, pero por otro lado este ha sido uno de los principales factores para el deterioro de la misma por su alto poder contaminante, además de obtener rendimientos más bajos.

Resulta interesante considerar que en los procesos, donde están involucrados los balances de masa y energía está presente un determinado grado de incertidumbre que influye en los resultados de las variables respuestas a través de las cuales se mide la eficiencia del proceso tecnológico.

Por estas consideraciones es un problema científico que: **En la planta de Levadura Torula no se ha realizado un estudio energético y su análisis inversionista, para la comprobación de los principales indicadores de eficiencia energética.**

Con el propósito de solucionar el problema anterior se plantea como hipótesis del trabajo la siguiente: **Si se diseña un sistema de gestión energética con su análisis inversionista basado en los resultados obtenidos, se puede lograr una mayor eficiencia energética y tecnológica.**

En correspondencia con el problema científico planteado el **objetivo general** de la investigación es:

**Diseñar un sistema de gestión energética incluido su análisis inversionista para el mejoramiento de los principales indicadores energéticos.**

Para validar la hipótesis y resolver el problema científico planteado, **los objetivos específicos** del trabajo son:

1. Caracterizar la situación material y energética de la planta de levadura Torula.
2. Evaluar la eficiencia energética de la planta planteando alternativas que mejoren su eficiencia y la del proceso.
3. Evaluar el impacto de la incertidumbre asociada a los balances de masa y energía.
4. Realizar el análisis inversionista de las alternativas.

Resultados Esperados:

1. La caracterización material y energética de la planta.
2. Las alternativas propuestas, basado en los resultados obtenidos en el análisis energético de la planta.
3. Se tiene un análisis de incertidumbre basado en los resultados obtenidos de los balances.
4. Se dispone de la mejor alternativa propuesta con su análisis inversionista.

## **CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.1. Usos de la levadura Torula**

Se conoce con el nombre de levadura torula al hongo levaduriforme de nombre científico *Candida utilis*. La levadura torula se usa como fuente proteica en todas las especies animales incluido el hombre, aun cuando los mejores resultados son con proteína de origen animal, cada vez es más amplio el uso de la levadura como suplemento proteico. La torula es usada como suplemento alimenticio animal debido a su gran contenido de vitamina B y minerales; si es irradiada además produce vitamina D. Se utiliza desecada como fuente de proteínas y puede ser añadida en piensos mixtos para alimentación de cualquier clase de ganado. Es ampliamente utilizada en vacas en periodo de gestación y lactancia. (*Lezcano, 2011*)

La levadura torula para consumo humano es un polvo fino de color pardo, algo más oscuro que la levadura forrajera comercial, pero con bajo contenido de ácidos nucleicos. Los microorganismos usados son: *Kluyveromyces fragilis* y *Saccharomyces cerevisiae*, que se caracterizan por su inocuidad y buen comportamiento productivo, a favor de la primera. Se diferencia de la levadura forrajera por el empleo de otro microorganismo y la inclusión de una sección de tratamiento de la crema de levadura, donde se efectúa la extracción de los ácidos nucleicos. Adicionalmente el producto se seca con aire a través de un horno de calentamiento indirecto. (*Herrero, 1999*)

La levadura torula se usa como fuente proteica en todas las especies animales incluido el hombre, aun cuando los mejores resultados son con proteína de origen animal, cada vez es más amplio el uso de la levadura como suplemento proteico. En Cuba constituyó un renglón exportable y de consumo interno, fundamentalmente, para alimento porcino y la formulación de piensos en la alimentación animal. (*Cabrera J, 1998*)

Con una línea de desarrollo y diversificación de esta industria y la introducción de nuevas cepas de levadura en determinados casos, el uso prospectivo puede extenderse a otros productos, algunos de ellos más valioso que el actual y que contribuirán a una gran estabilidad en esta industria, entre ellos: levadura desnucleizada para consumo humano, ácido nucleico (RNA), autorizado de levaduras para medios de cultivos y como saborizante, levadura invertasa y miel proteica.

La levadura torula para consumo humano es un polvo fino de color pardo, algo más oscuro que la levadura forrajera comercial, pero con bajo contenido de ácidos nucleicos. (*Cabrera J, 1998*). Los microorganismos usados son: *Kluyveromyces fragilis* y *Sacchaaromyces*

cereviciaces, que se caracterizan por su inocuidad y buen comportamiento productivo, a favor de la primera.

Se diferencia de la levadura forrajera por el empleo de otro microorganismo y la inclusión de una sección de tratamiento de la crema de levadura, donde se efectúa la extracción de los ácidos nucleicos. Adicionalmente el producto se seca con aire a través de un horno de calentamiento indirecto. **(Cabrerera J, 1998)**

### **Levadura torula a partir de mieles finales de caña.**

En los países tropicales, poseedores de una amplia industria azucarera de caña, la producción de levadura forrajera, a partir de miel final resulta particularmente atractiva, sobre todo si se tiene en cuenta la imposibilidad de contar con proteínas vegetales de bajo costo, tales como la soja, motivado por características climáticas. Es además, una forma de independizarse de las variaciones del mercado exterior, en tanto se reduce la importación de materiales proteínicos adecuados para las producciones de piensos. Estos factores, así como el de ser una producción localizada, de complejidad tecnológica media, que diversifica la industrialización de la caña de azúcar y además, es una fuente de trabajo, la hacen recomendable para los países en vías de desarrollo. **(Cabrerera J, 1998)**

La producción de levadura forrajera, a partir de mieles, se caracteriza por ser un proceso continuo en el cual la miel aporta carbohidratos como fuente de energía y factores de crecimiento en forma de vitaminas y minerales. El desarrollo de esta producción comprende cinco unidades de proceso, básicas: **(Cabrerera J, 1998)**

Preparación de materias primas y auxiliares.

- Fermentación
- Recuperación de levadura o centrifugación
- Concentración
- Secado

### **Fermentación continúa**

La levadura puede desarrollarse en procesos a batch o continuos, siendo este último el de máxima productividad y rendimiento. La fermentación continua fue iniciada hace alrededor de 60 años, precisamente con la producción de levadura forrajera.

La producción de levadura torula por fermentación continua comenzó en Cuba en el año 1964 y se incrementó a finales de la década del 70, hasta una capacidad potencial de 100 000 t por año. La fermentación continua para la reproducción de biomasa consiste en la alimentación constante de una masa de sustratos balanceados al fermentador, donde ocurre el crecimiento y

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

la reproducción de la levadura, cuyo cultivo se mantiene a una concentración constante en el mismo, obteniéndose un mosto fermentado con una pobre concentración de sustrato y rico en biomasa la cual es separada posteriormente por operaciones mecánicas y de evaporación del líquido que la contiene, para obtenerla seca o en forma de crema. **(Santos R, 1999)**

### **Tipos de fermentadores continuos y principios de funcionamiento**

La producción de levaduras en el país se hace a partir de dos tecnologías, la de alta y la de baja concentración, las cuales están definidas fundamentalmente por el diseño de los fermentadores. En la tecnología de alta concentración o austríaca, los fermentadores son de patente Vogelbusch con sistema de aireación y agitación mecánica de alta eficiencia. La operación normal es en serie; dos líneas de dos fermentadores, en dos etapas cada una, es decir, que una línea de producción constituida por dos fermentadores conforma dos etapas en serie, equivalen a media capacidad de la planta de levadura. El sistema se puede operar también con cuatro fermentadores en paralelo, descargando en un tanque de desemulsión. **(Santos R, 1999)**

En la tecnología de baja concentración o francesa los fermentadores son de patente Lefrancoise con circulación invertida de aire, son equipos de gran volumen (1000 m<sup>3</sup> aproximadamente), abierto y sin sistema de agitación mecánica, es decir, el aire suministrado al fermentador realiza las dos funciones: suministrar el oxígeno a la levadura y agitar el medio para su homogeneización. Puede operar como el sistema austríaco, en paralelo o en serie, diferenciándose de esta última alternativa, en que los tres fermentadores que poseen estas plantas, dos actúan como primera etapa y el tercero como segunda etapa.

La fermentación de alta concentración al liberar más calor, necesita un sistema de refrigeración complejo, mientras que la de baja concentración requiere solo un circuito cerrado de enfriamiento con una torre de empaque, aunque tiene como desventaja que se procesa un mayor volumen de mosto fermentado, requiriéndose más consumo de agua y de energía para separar la levadura.

El fermentador de alta concentración también es más complejo al contar con partes móviles (agitador) que lo hace más susceptible a las roturas. Además requiere de un mayor consumo de electricidad. **(Santos R, 1999)**

### **Situación actual de la levadura torula**

Desde finales del siglo pasado el costo de la producción de la levadura torula se hizo insostenible por el gasto de miel final por tonelada de levadura producida que oscila entre 4.0 y 4.5 t, la reducción en la producción nacional, la opción más económica para producir

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

alcohol y los elevados costos de petróleo para generar la energía eléctrica que se consume y el secado final.

Es por lo anterior es que abordaremos que se está ejecutando para producir levadura torula en la actualidad aprovechando la vinaza de las destilerías de alcohol.

La vinaza es un líquido de color café que resulta de la destilación de las mieles finales o el guarapo de la caña de azúcar. Este residual al ser eliminado a los cursos de agua superficiales y subterráneos crea grandes problemas de contaminación de su alta carga biológica y química de oxígeno. **(Lezcano P.2006)**

### **1.2. Análisis de Incertidumbre, su aplicación en la Industria.**

La vida útil de una instalación industrial necesariamente se extiende hacia el futuro, por lo tanto el diseño óptimo debe tratar de asegurar las mejores condiciones futuras, de manera que mientras más incierto e impreciso es el pronóstico, más incierto e impreciso es el diseño óptimo. Esto refuerza la necesidad de determinar el mejor tamaño inicial en un sistema de procesos, así como las variables requeridas para su diseño y construcción, lo que se logra con un acertado sistema de pronóstico que descansa en una adecuada gestión de conocimiento en concordancia con una conducta proactiva que permita aprovechar las oportunidades que el desarrollo científico técnico pueda brindar a la competitividad de las tecnologías que se instalan.

Esta incertidumbre respecto al comportamiento futuro de numerosos factores da lugar, a situaciones de riesgo en las decisiones de inversión. Siendo el riesgo una realidad palpable. Un verdadero análisis de rentabilidad requiere que se consideren los riesgos a los que se expone una inversión; sería ilógico ignorarlos y actuar como si no existieran.

Un enfoque más adecuado a los problemas de incertidumbre en la ingeniería de procesos, así como los principios metodológicos para su consideración en el diseño de nuevas instalaciones aparecen ordenados por **(Rudd, 1980)** en cuatro direcciones:

- Los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos,
- El entorno, tanto económico como ambiental,
- Los parámetros tecnológicos y
- La disponibilidad de los equipos.

En adición a estos aspectos se debe mencionar, considerando la experiencia de los últimos lustros, los estudios de la incertidumbre financiera.**(Oquendo, 2002) ;(González, 2005).**

La consideración de estos aspectos ha sido abordada en Cuba por diferentes autores, destacándose: los resultados en el análisis de ampliación y reconstrucción de fábricas de papel combinado por primera vez, considerando los aspectos concernientes a la incertidumbre

(**Gallardo, 1990**), la sistematización de los aspectos que incluyen los procedimientos para desarrollar instalaciones de la industria de procesos químicos partiendo de los estudios de laboratorio (**Villanueva, 1991**), los aspectos concernientes a la consideración de la incertidumbre tecnológica en los diseños de los sistemas de control de equipos de la industria de procesos químicos (**Peralta, 1992**), los aspectos que fueron incluidos para la ejecución de los estudios de alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la industria azucarera mediante el incremento de la producción de bioetanol en (**González, 1995**), lo que anticipó la posterior demostración de la necesidad y posibilidades de incluir los estudios de optimización de la disponibilidad y los valores inversionistas de los sistemas tecnológicos de la industria de procesos químicos mediante la consideración de la incertidumbre en la fiabilidad de los equipos en la etapa del diseño de las instalaciones de la industria química. (**Rosa, 1996**)

Todos los tipos de incertidumbre tratados hasta el momento en Cuba, son resumidos en una metodología planteada por (**Catá, 2004d**);(**González, 2004a**). La misma ha sido aplicada al proceso de producción de papel onda a partir del pulpeo con etanol, donde se tuvo en cuenta la incertidumbre en los cambios futuros con resultados favorables en la minimización de los riesgos en el proceso inversionista.

### **1.3. Incertidumbre en los procesos químicos.**

Al desconocimiento parcial o total de las principales variables de un procesos, así como a la variación o fluctuación de las mismas dentro de un rango determinado, ya sea por su carácter aleatorio o por la presencia de errores se le denomina incertidumbre, y según el amplio trabajo desarrollado y resumido por **Pedraza J.1997**, se divide en dos etapas:

La primera, en la década del 50, donde se crearon las bases teóricas y se dieron los primeros pasos.

La segunda, a partir de los años 70, donde se hace un estudio profundo del análisis de incertidumbre en el diseño, utilizando técnicas de simulación de procesos, ofreciendo, además, una vía para el análisis de sensibilidad multivariable. En esta etapa se ofrecen técnicas para disminuir la incertidumbre en los procesos químicos como son las de computación, los análisis estadísticos y los criterios de fiabilidad.

La incertidumbre en el análisis de situaciones propias de la industria de procesos está íntimamente 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 o bien por ser un procesos poco estudiado o porque la información que se dispone es muy escasa y en muchos casos contradictoria por las propias características de la materia prima a utilizar y por el efecto que el entorno ejerce sobre el mismo.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

La industria de procesos se caracteriza por numerosas situaciones en que el comportamiento de los factores involucrados es de naturaleza aleatoria o es factible o conveniente el tratarlos como tal. En general los procesos químicos están sujetos a muchas variaciones, **Douglas, L.P. 1991.**

No existe ningún método capaz de predecir situaciones futuras tales como la demanda de servicios de un determinado sistema, una variación de las condiciones ambientales, la velocidad de una reacción química en un reactor en proyecto o la eficacia de un proceso de separación.

El ingeniero protege los sistemas que proyecta contra los efectos de la incertidumbre en los datos de diseño, considerando un cierto margen de seguridad. En muchas ocasiones, los componentes de una planta se diseñan premeditadamente para que tengan mayor duración y sean más flexibles y capaces que lo que aconseja la mejor información disponible para prever la posible influencia de variables desconocidas. Por otra parte, cuando existe incertidumbre sobre algún aspecto crítico de un sistema nuevo, el ingeniero puede decidir no correr el riesgo de construir la planta comercial directamente, recomendando el montaje de una pequeña planta piloto para ensayar el comportamiento del sistema, pero esto evidentemente encarece el proceso.

Las direcciones fundamentales de trabajo al considerar incertidumbre de los procesos químicos como ha señalado **King, C.E. 1972**, y ratificado por **González E. 1991** y **Pedraza J. 1997**. son:

1. Determinación de las características a las cuales deben acogerse los procesos previendo los cambios futuros.
2. Los aspectos concernientes con las técnicas de hacer el mejor diseño cuando se desconocen datos para el mismo o existe incertidumbre sobre dichos datos.
3. Lo concerniente con los fallos de los componentes del sistema así como de toda la instalación y los métodos de diseño considerando tolerancia a los fallos.
4. Dirigidos al diseño de sistemas que respondan adecuadamente a los cambios en el entorno.

### **1.4. La Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía.**

Al analizar una tecnología en operación es necesario obtener información, en una primera etapa, para lograr su representación lo más completa posible, y luego evaluarla en una etapa posterior. Esta información debe contener la caracterización de los puntos críticos o débiles del proceso con su localización y hacia ellos se enfocará la intensificación del mismo. Las técnicas generales del análisis del proceso proponen aplicar los balances de masa y energía con y sin la consideración de la incertidumbre (**Santos, 2001**); (**Santos, 1999**). La

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

imposibilidad de poder prever en que áreas del entorno es posible que ocurran cambios, se ve incrementada por la imposibilidad de saber si ellos serán beneficiosos o contrarios a los intereses del proyecto.

Para la determinación de las capacidades a instalar, así como para estimar la demanda y la disponibilidad es necesario tomar información de los procesos, la forma de proceder en el muestreo debe ser satisfactoria, permitiendo la obtención de resultados altamente confiables, y minimizando así los efectos de la incertidumbre en la información. Por esta razón resulta interesante determinar la influencia del muestreo en los resultados de los balances de masa y energía.

Para estimar la incertidumbre existen dos aproximaciones, independiente de las fuentes que estas procedan: las de tipo A y de tipo B, necesitándose en la mayoría de los casos ambas estimaciones .(Nápoles, 2004) ;(Oquendo, 2000).

1. Evaluaciones de tipo A: Utiliza métodos estadísticos, normalmente a partir de mediciones estadísticas.
2. Evaluaciones de tipo B: Se obtienen de otras informaciones. Estas pueden provenir de experiencias previas con otras mediciones, de certificados de calibración, de las especificaciones de los fabricantes, de cálculos, de informaciones publicadas y del sentido común.

Pasos principales para evaluar la incertidumbre.

Estos autores (Oquendo, 2000) valoran seguir aproximadamente los siguientes pasos:

I. Decidir que se necesita encontrar, qué mediciones reales y cálculos se necesitan para obtener los resultados finales.

II. Efectuar todas las mediciones necesarias.

III. Estimar las incertidumbres de cada magnitud de influencia sobre el resultado final, expresándolas todas en los mismos términos para poder combinarlas.

IV. Decidir cuales errores de las magnitudes de influencia son independientes de los demás. Si se piensa que no lo son, se necesitan cálculos e información adicionales, sobre la correlación entre ellas(cálculo de covarianza).

V. Calcular el resultado de las mediciones, incluyendo todas las correlaciones conocidas (ejemplo, en certificados de calibración).

VI. Encontrar la incertidumbre estándar combinada, a partir de las incertidumbres individuales, las cuales deben estar expresadas en las mismas unidades para poder combinarlas.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

VII. Expresar la incertidumbre en términos del factor de cobertura, conjuntamente con el valor del intervalo de incertidumbre, establecer el nivel de confianza.

VIII. Escribir el resultado de las mediciones y su incertidumbre, indicando cómo se han determinado.

Varios autores (**Pozueta, 2001**); (**Schmid 2000**) valoran que se debe encontrar la incertidumbre estándar combinada, a partir de las incertidumbres individuales, las cuales deben estar expresadas en las mismas unidades para poder combinarlas. Es por ello que se deben conocer algunas definiciones importantes para llevar a cabo este paso.

- Incertidumbre estándar. Es la incertidumbre expresada como un estimado de la desviación estándar (estimación de tipo A) más la estándar según la incertidumbre de tipo B.
- Propagación de la incertidumbre; sigue la ley de propagación de la incertidumbre, definida por los autores (**Pozueta, 2001**); (**Schmid 2000**) y (**Riviera, 2000**).

En el diseño de plantas químicas con incertidumbre en los datos, se reportan dos formas para caracterizarla:

1. Mediante distribuciones de probabilidad (utilización de las técnicas de Monte Carlo). Esta, ofrece grandes perspectivas para la evaluación y el análisis de sistemas, a la hora de estimar la incertidumbre de una medición y de determinar la propagación de la misma en el objeto medido.

Autores como Poutlers (**Poutlers, 2000**), **Zheng y Frey (Zheng, 2000)** y Hopewell (**Hopewell, 1997**) reconocen esta técnica como un medio de cuantificación de la variabilidad y la incertidumbre en problemas de contaminación medio ambiental, decisiones en el planeamiento financiero y en el análisis cuantitativo de las emisiones.

Además, en (**González, 2001**) se reporta la aplicación de esta técnica en la optimización de una planta petrolera logrando grandes ahorros a los clientes. También se plantea en la revisión de la norma (ISO 5168), sobre la medición del flujo bajo condiciones de incertidumbre.

Kirchner (**Kirchner, 2000**), lo utiliza en el estudio de la propagación de la incertidumbre en balances de masa hidrológicos.

En todas las fuentes citadas se valora la gran aceptación de esta técnica, por las ventajas que ofrece, siendo aplicada, de forma general, en la toma de decisiones en los negocios en la estimación del riesgo y de la incertidumbre en muchas áreas de la ciencia y de la industria.

Por otro lado, Fernández (**Fernández, 2001**), reporta el tratamiento de la incertidumbre y la dispersión propia de los procesos dinámicos, a través de la lógica y la dinámica difusa.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

2. Mediante límites inferiores y superiores. Esto permite que la planta opere sobre el rango de incertidumbre o variación de parámetros y se puede obtener el diseño óptimo de la planta.

En la literatura especializada se reportan dos métodos para estimar la incertidumbre y su propagación (**Poutlers, 2000**):

1. Aplicando lo recomendado por las normas ISO-GUM.
2. Aplicando la simulación por el Método de Monte Carlo.

Si se realiza una valoración de las ventajas y dificultades de estos métodos se arriba a lo siguiente:

- Ambos métodos permiten la estimación de la incertidumbre de las mediciones de forma satisfactoria.
- Es necesario acopiar mucha información en el procedimiento de toma de la muestra para aplicar lo establecido en las normas ISO-GUM, y que la calidad de la instrumentación sea buena.
- Al aplicar el método de Monte Carlo, se puede disponer de la información histórica de las variables en períodos anteriores para caracterizar las variables y propagar la incertidumbre en el sistema de medición, constituyendo esto una ventaja sobre las normas ISO GUM, por eso es la más difundida en la literatura.
- Ante la situación presente en la instrumentación de las fábricas de azúcar, el método de Monte Carlo posibilita la estimación obviando esos inconvenientes.

Además a estos argumentos se debe agregar que en la literatura (**Pozueta, 2001**); (**Bernardo, 2001**); (**Banerjee, 2002**) se recomienda el método de Monte Carlo para estudios de simulación y estimación de incertidumbre aprovechando las ventajas de tomar valores históricos, sin embargo cuando se quiere establecer una norma de vertimiento de residuales, o normas de operación sí es necesario hacer mediciones estrictas y se requiere de una mayor calidad de los equipos, de aquí que se utilice con ese objetivo las normas ISO –GUM.

(**Nápoles, 2004**) y (**Catá, 2004b**) abordan este aspecto pero sólo en la fábrica de azúcar, demostrándose que para la realización de los balances en estos sistemas complejos existen diferencias significativas entre los valores medidos en un día de operación y un valor arbitrario y que el tamaño de la muestra dependerá de las condiciones específicas de cada industria, validado por el coeficiente de variación.

En este trabajo se realizará el estudio de incertidumbre por el Método de Monte Carlo que se basa en un muestreo simulado de las variables que en un proceso se consideran aleatorias. Una variable aleatoria queda caracterizada cuando se conoce la ley de probabilidad que rige el comportamiento, conociendo esto es posible generar sus valores. Existen reportadas distintas

técnicas para obtener las muestras, las cuales utilizan números aleatorios uniformemente distribuidos. Dentro de estas técnicas están:

1. Método de la transformación inversa desarrollado para numerosas distribuciones de probabilidad.
2. Transformación directa para la distribución normal.
3. Método de la convolución aplicado a la distribución de Erlang y a la binomial.
4. Técnica de aceptación y rechazo, utilizada para generar las variables distribuidas, según la ley Poisson y Ganma. (Nápoles, 2004)

### **1.5. Sistema de Gestión Energética.**

El Sistema de Gestión Energética es la parte del sistema de gestión de una organización dedicada a desarrollar e implantar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía (aspectos energéticos).

La norma UNE-EN ISO 50001 establece los requisitos que debe poseer un Sistema de Gestión Energética, con el fin de realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético de las organizaciones.

La certificación de un sistema de gestión energética asegura por tercera parte el control y seguimiento sistemático de los aspectos energéticos y la mejora continua del desempeño energético. Ello contribuye a un uso de la energía más eficiente y más sostenible, otorgando confianza en el sistema de gestión. (<http://www.aenor.com>)

La gestión energética consiste en la optimización en el uso de la energía buscando un uso racional y eficiente, sin disminuir el nivel de prestaciones. A través de la gestión energética se detectan oportunidades de mejora en aspectos relacionados con la calidad y seguridad del sistema energéticos, logrando que los usuarios conozcan el sistema, identifiquen los puntos consumidores e implanten mejoras, alcanzando altos niveles de eficiencia energética.

La gestión energética deberá contribuir a establecer objetivos a corto, medio y largo plazo encaminados a conseguir la optimización en el uso de los recursos energéticos y de sus técnicas:

- Uso de fuentes de energías renovables.
- Sustitución de algunas fuentes de energía.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

- Análisis del ahorro energético de las acciones realizadas.
- Aislamiento térmico.
- Aprovechamiento de residuos.
- Análisis del entorno ambiental.
- Estudio de técnicas nuevas de producir y ahorrar energía.
- Análisis económico de la gestión.

( <http://www.es.scribd.com>)

La eficiencia energética es una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto procurar bajar el uso de energía. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden desear ahorrar energía para reducir costes energéticos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así su beneficio. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica. También se denomina ahorro de energía.

La industria es uno de los sectores de la sociedad más necesitados del ahorro de energía, ya que su logro supone una mayor competitividad.

(<http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-la-energia>)

### **1.6. Eficiencia Energética.**

La eficiencia energética es un requisito indispensable para lograr la eficiencia y calidad en las entidades de producción y prestación de servicios al ser la energía un componente importante en los gastos económicos.

Concepto: Conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía en todas sus tipos: eléctrica, térmica, etc. Es la habilidad de lograr objetivos empleando la menor cantidad de energía posible. Es la capacidad de alcanzar los mayores beneficios en el uso final de la energía con el menor impacto sobre el medio ambiente.

Una de las problemáticas del mundo moderno es sin lugar a dudas, la energía, de ella dependen el funcionamiento de las fábricas, la obtención de alimentos y su preparación, la iluminación, climatización de los hogares, el transporte de personas y mercancías.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Desde 1973 el mundo empezó a ser conciente de la vulnerabilidad de los recursos energéticos, a raíz de la disminución de las reservas y la abrupta elevación de los precios del petróleo por la invasión de Israel a los palestinos. En estas condiciones, la Energía barata y las tecnologías a ellas asociadas comenzaron a dar señales de agotamiento (**Tablada y Hernández, 2006**).

El problema energético adquiere una importancia crucial, no sólo desde el punto de vista de la satisfacción creciente de la demanda global, sino además en lo que se refiere al impacto ambiental del sistema energético contemporáneo, basado en la utilización de los Combustibles fósiles. Esta situación fue planteada desde 1976 por el físico ruso Piotr Kapitsa al señalar que “... debido al aumento de la población y al crecimiento de la cultura material alcanzados en nuestro siglo, se han introducido procesos tecnológicos y energéticos que comienzan a cambiar la naturaleza a nivel de todo nuestro planeta. Algunos de estos cambios son tan notables que representan un peligro para la subsistencia de toda la humanidad” (**Kapitsa, 1985**)

Para **Borroto et al (2001)**, la eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la Energía necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones.

**Lapido et al. (2004)** plantea que la eficiencia energética implica lograr los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético y la menor contaminación ambiental por este concepto.

Eficiencia energética implica el desarrollo de una actividad productiva o de prestación de servicio con el máximo de resultados socialmente útiles y con el menor gasto de Portadores Energéticos técnicamente posible y la menor Contaminación ambiental por la utilización de estos.

La gerencia de la eficiencia energética debe tener como objetivo final el logro de la máxima reducción de los consumos energéticos, con la tecnología productiva actual de la empresa y realizar los cambios a tecnologías eficientes en la medida que estos sean rentables de acuerdo a las posibilidades financieras de cada empresa. Lograr este objetivo de forma continua requiere de organizar un sistema de gestión, cambios de hábitos y cultura energética (**Campos et al., 2003**).

La conservación y el uso racional de los Portadores Energéticos incluyen la necesidad de incorporar el factor ambiental en las políticas de gestión energética empresariales.

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Es fundamental conocer el impacto medioambiental y social de los proyectos energéticos, formas de evaluación y mitigación. La protección de la naturaleza es una exigencia de la sociedad, reflejada en los acuerdos internacionales, reflejados en los Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones (**Castejón, 2005**).

La solución del problema energético, independientemente de la disponibilidad de petróleo, está en la explotación de las fuentes energéticas renovables, en la búsqueda de métodos más eficientes en el empleo de los combustibles, en la utilización de los avances científicos y en el desarrollo de una cultura en el uso eficiente y el ahorro de energía.

Para lograr conformar esta política energética acorde al desarrollo sostenible se debe trabajar por la elevación de la eficiencia energética, eliminando esquemas de consumo irracionales, reduciendo la intensidad energética en los procesos productivos y aprovechando las fuentes alternativas de energía, como la tracción animal, los aerogeneradores, el biogás y el carbón vegetal.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética no es sólo que exista un plan de ahorro de Energía, sino que se cuente con un Programa de Gestión Energética basado en un conjunto de medidas y acciones técnicas, organizativas, administrativas, sistemáticas, preestablecidas y documentadas, a ejecutar antes, durante y después del proceso productivo y/o de prestación de servicio que garantizan el uso racional y eficiente de los Portadores Energéticos, su ahorro y la protección del Medio ambiente.

Para el éxito de un Programa de Gestión Energética resulta imprescindible el compromiso de la alta dirección de la empresa y de todos sus trabajadores con ese propósito, se deben concentrar los esfuerzos en el control de las actividades y equipos de mayor gasto energético, a través de normas o índices de consumo; en la atención y capacitación de los trabajadores que más influyen en los gastos de energía de la Entidad; en el desarrollo de auditorías energéticas sistemáticas. Las empresas que hacen gestión de energía responden a una conciencia de mejoramiento continuo y al convencimiento de que existen importantes potenciales de ahorro.

Según (**Fundora, 2006**), para intentar superar estos grandes problemas globales a los que se enfrenta la humanidad, el reto más grande que existe es la transformación de los hábitos, costumbres, valores y actitudes que se han impregnado en las personas y que contribuyen a una actuación contraria al cuidado de la naturaleza. El sistema de relaciones sociales y

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

productivas imperante en el mundo ha provocado, con demasiada generalidad, conductas incompatibles con la naturaleza, al crear ficticias necesidades de altos niveles de consumo, sin valorar los prejuicios que ello puede provocar en el medio ambiente. Semejantes conductas se reflejan a nivel social e individualmente, aún cuando las personas no se percatan en qué medida su conducta personal provoca verdaderas afectaciones ecológicas.

Por todo ello, se debe trabajar en la preparación de profesionales y técnicos calificados, que con la filosofía de la gestión total de la calidad, que sean capaces de diseñar y aplicar programas de eficiencia energética integrales.

### **1.7. Manejo de la energía en la industria de procesos.**

La energía consumida en los países industrializados por parte del sector industrial representa más de un tercio del total del gasto energético, de los cuales en la mayoría de usos, se abastece de gas natural y petróleo, seguido de la electricidad y del carbón. Muchas industrias requieren una gran cantidad de energía por unidad de producto, y son los candidatos en los que se pueden centrar los esfuerzos de eficiencia energética. En los procesos industriales el uso racional de la energía se hace importante por la gran demanda energética manifiesta de diferentes formas, incidiendo sobre el rendimiento económico y posteriores efectos ambientales. Por esto es fundamental aplicar los conocimientos técnicos especializados en estos temas para optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles. *(Oland, 2000)*

Dentro de las industrias que involucran el desarrollo de procesos para obtener productos de mayor valor agregado, se encuentran varios tipos de usos energéticos propios del proceso que se hacen indispensables para el desarrollo de las plantas productivas, uno de estos usos es la combustión usada para hacer transformación de energía en energía calórica o de movimiento, de la cual se puede obtener energía eléctrica o vapor para hacer transferencia de calor en otros equipos posteriores. La conservación de energía en la combustión se puede abordar por dos caminos como lo son: los parámetros de operación y las características de diseño del equipo. *(www.monografías.com)*

Aunque el uso eficiente de la energía debiera ser un asunto prioritario para todos los sectores productivos, el foco está en el sector industrial, el cual tiene la más alta demanda de energía primaria y de este modo el más alto potencial para el ahorro y conservación energética a través de medidas económicas y técnicas. Aunque estas medidas quizás requieran inversiones iniciales, los retornos pueden obtenerse en el corto plazo debido a la reducción en la demanda de energía. *(Hydro, 1999)*

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Aplicar eficiencia energética implica generalmente modificar los procesos industriales para prevenir más que curar.

Al incorporar el tema de eficiencia energética en su gestión, las industrias ganan:

- Una producción más eficiente, producir el mismo nivel y tipo de productos a menor costo, con menor consumo de energía.
- Contar con indicadores de desempeño energético en el proceso de toma de decisiones.
- Conocer aspectos de la cultura organizacional de la empresa que permitan identificar las variaciones en los patrones de comportamiento organizacional y los niveles de estabilidad del comportamiento grupal, a fin de incorporar el factor energía en la organización.
- El precio de mercado de combustibles y electricidad, de la energía, en general no refleja sus externalidades. Si las empresas reducen sus consumos de energía, disminuyen sus pérdidas de energía o utilizan energías renovables en sus procesos productivos, caminan hacia una producción sustentable ([www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl))

### **Eficiencia energética en los procesos industriales.**

El concepto de eficiencia energética, es un concepto muy amplio que a la vez admite múltiples definiciones. Varios autores coinciden en que la eficiencia energética es la relación entre la producción de un rendimiento, servicio, bien o energía y el gasto de energía asociado. El objetivo fundamental que se persigue al hablar de eficiencia energética, es la optimización de los recursos energéticos en las instalaciones, independientemente del sector en que nos encontremos. ([www.anixtersoluciones.com](http://www.anixtersoluciones.com))

El ahorro energético, es evidentemente el principal objetivo de cualquier plan de eficiencia energética pero también se deben tener en cuenta aspectos como el perfeccionamiento de la productividad mediante la mejora en la eficiencia de los equipos y la planificación del mantenimiento además de la mejora de la disponibilidad de las instalaciones para garantizar así la continuidad del servicio o proceso, permitir una mejor previsión de la producción y evitar problemas de no calidad tanto en la producción como en el servicio. (*Daura, 2011*)

#### **1.8. Integración de procesos en la Industria Química.**

La integración de procesos se conoce desde finales de los años setenta cuando aparece la tecnología Pinch y la optimización de las redes de integración de calor. Basándose en rigurosos principios termodinámicos, el método Pinch es utilizado para determinar el mínimo

## CAPITULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

número de utilidades requeridas para calentar o enfriar corrientes del proceso, de todos los procesos de integración el método Pinch es el más conocido y estudiado. **(Bedard, 2001)**

La industria de la caña de azúcar es privilegiada por tener materias primas potencialmente renovables y suministro de energía, esto brinda una contribución vital hacia la generación de riquezas sustentables, del uso de los recursos lo más eficientemente posible depende que se pueda lograr esta meta. **(González, 2002)**

En Cuba esta industria está obligada por las condiciones actuales, a desarrollar un serio análisis de las potencialidades de su diversificación. Se debe considerar que la Integración de Procesos es un factor clave para lograr con éxito la producción diversificada de la misma.

La Integración de Procesos es una tecnología sistemática, basada en un enfoque hacia el desarrollo de procesos que permite al ingeniero de procesos ver un gran escenario primero y los detalles después. Permite identificar los objetivos globales de eficiencia antes de cualquier actividad de desarrollo y encontrar la estrategia óptima para llevarlo a cabo. Estos objetivos pueden ser por ejemplo, minimización de los requerimientos energéticos, minimización de la generación de residuales y maximización de la eficiencia del proceso.

La integración de procesos es caracterizada por dos elementos: la energía y la masa. **(Cripps, 2000).**

La integración energética caracteriza el flujo global dentro de cualquier proceso e identifica las políticas óptimas para su distribución y redistribución de forma tal de obtener la configuración óptima para su consumo mínimo.

La integración de masa es una técnica relativamente nueva que se ha desarrollado mucho en los últimos años. Las investigaciones en este tema han conducido al desarrollo de una herramienta sistemática y potente para el entendimiento total del proceso y explotar así sus posibilidades de integración **(Dunn, 2000).**

Las herramientas de integración de procesos que serán usadas en el trabajo son el método Pinch para determinar el mínimo números de utilidades para calentar o enfriar las diferentes corrientes del proceso, se realizarán balances de energía para determinar el consumo de vapor de cada equipo para ver si es factible el esquema que tienen actualmente o es necesario proponer otro esquema, se determinará el consumo de agua de cada equipo para evaluar las posibilidades de reciclaje y reuso de este importante recurso natural tan escaso en los últimos tiempos para disminuir el consumo de agua fresca.

El uso de menos agua en los procesos, reduce los costos de tratamientos totales, la demanda química y biológica de oxígeno, concentra al contaminante en el agua residual, haciendo más

fácil su tratamiento, debido a esto los costos para el tratamiento de los residuales también son reducidos.

La Integración de Procesos de manera muy general se ha utilizado a lo largo de muchos años. Sin embargo recientemente ha sido convertida en una herramienta primordial a través del uso de la experiencia de ingeniería y de la observancia de modelos específicos en procesos específicos (**Linnhoff, 1984**). Si estas herramientas son utilizadas adecuadamente permitirá cubrir las necesidades térmicas, mecánicas y eléctricas en las industrias, o sea, llevar a cabo una cogeneración consecuente. Debido a los altos costos de los combustibles en los últimos años y a la crisis energética este procedimiento ha resurgido con mucha fuerza, sobre todo en la industria azucarera (**González, 2002**) ,(Espinosa, 2001b).

Cuando las herramientas de integración de procesos no se tienen en cuenta se desechan oportunidades de recuperación como es el reuso del agua, la minimización de los consumos energéticos, se desaprovechan corrientes intermedias, cuando estos aspectos se tienen en cuenta se logran niveles más bajos de contaminación y de riesgos ambientales, aumento en la eficiencia de los procesos. Los costos operacionales se reducen de manera significativa.

### **1.9. Conclusiones Parciales.**

1. Para resolver los problemas que genera la variabilidad de la información y minimizar los riesgos en el proceso tecnológico, es necesario considerar la incertidumbre en las variables que intervienen en los balances de masa y energía.
2. Es conveniente evaluar la incertidumbre utilizando los métodos del análisis estadístico y de simulación aleatoria para analizar su influencia en un análisis económico.
3. Con la integración energética se aprovechan corrientes frías y calientes en el proceso lo que trae consigo la disminución del requerimiento de utilidades en el proceso y por consiguiente de los costos.
4. La Integración de Procesos es un factor clave a considerar para la minimización de residuales y maximizar el reuso de corrientes en el proceso.

## **Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.**

### **2.1. Introducción.**

En este capítulo se discuten todos los aspectos relacionados con el proceso de obtención de torula, presentando la descripción del flujo tecnológico haciendo énfasis en la etapa de secado. Se identifica como debilidad de este proceso que la sección de secado tiene un elevado consumo de combustible por lo que se hace necesario analizar la posibilidad de reducir el consumo de este portador energético.

### **2.2. Descripción del flujo tecnológico de la producción de Torula.**

Esta planta fue fabricada por la firma francesa Speichim en el 1977, está complementada por diferentes tecnologías (Aeguisbanner, Alpha Laval, Niro, entre otras), y diseñada para producir 40 toneladas de torula al día y actualmente produce alrededor de las 15 toneladas.

En sus inicios utilizaba como fuente de materia prima básica, miel final, enviada desde el CAI Antonio Sánchez, sin embargo las dificultades presentadas para garantizar el suministro estable de esta, obligó a la necesidad de utilizar la vinaza procedente de la destilería de alcohol (ALFICSA) que se encuentra ubicada en las proximidades del territorio, la cual representa un residual de aquel proceso, razón por la cual al utilizar estas vinazas la fábrica se convierte además en una planta de tratamiento de residuales, que constituyen una gran problemática para el medio ambiente, y a la misma vez una solución para la continuidad del proceso productivo de la torula pues la planta tiene la posibilidad de utilizar ambas fuentes indistintamente, al parar la destilería ALFICSA la planta empieza a trabajar nuevamente con miel.

La vinaza previamente almacenada se hace pasar por el intercambiador de placas para ser enfriada hasta una temperatura aproximada a los 32 °C, que viene de la destilería con una temperatura entre (80 y 82) °C, luego se bombea a cada fermentador a razón de 23 (m<sup>3</sup>/h), su nivel normal de trabajo es de 2.8 m de altura, y un volumen de 200m<sup>3</sup>;

El proceso de producción de levadura torula cuenta de cuatro etapas fundamentales:

- Fermentación
- Separación
- Evaporación

- Secado

### Preparación de la Materia Prima

Para la preparación de la materia prima se parte de una cepa de levadura desarrollada en el laboratorio en medio sólido, la que posteriormente se pasa a un medio líquido aproximadamente en un reactor de 5L, se mantiene durante un tiempo en que las levaduras pasan de la etapa de adaptación para emprender la fase de crecimiento exponencial.

A partir de este paso se procede de igual forma a través de varios reactores donde se va aumentando el número de levaduras y el volumen del medio, donde estas a la vez se van multiplicando lo cual nos conlleva a la etapa de prefermentación, que la misma responde al mismo principio con valores de volúmenes de (10-15m<sup>3</sup>) y concentración de masa biológica de (5-6)g/l, donde para el crecimiento de las misma necesitan nutrientes como sulfato de amonio, fosfato de amonio y urea esta última se emplea para el caso en que se utilice como sustrato la miel y para el caso que se utiliza la vinaza en vez de la urea se complementa con un aditivo probiótico los cuales aportan el fósforo y nitrógeno necesario a la fermentación el cual se mezcla conjuntamente en el tanque de sulfato de amonio.

### Preparación de las sales nutritivas.

Objetivos: se obtiene la alimentación de las cantidades de nitrógeno y fósforo necesarias para la fermentación y la regulación del pH en los fermentadores.

La instalación es prevista para dosificar independientemente cada uno de los nutrientes, lo que permite hacer una distribución hacia cada uno de los fermentadores. Las sales nutritivas, previamente almacenada en bolsas en el almacén, se diluyen por separado con agua. Esta operación se realiza en tanques receptores provistos de un agitador. El cargamento de este tanque se efectúa mediante un elevador de tornillo sin fin equipado con una tolva, por medio de las bombas (P 353-354,355-356,357-358) las soluciones alimentan los fermentadores, los caudales de sulfato son ajustados automáticamente en función del valor del pH en los fermentadores y el caudal de la solución de fosfato es constante hacia cada fermentador. Se ajusta y se controla manualmente.

### Fermentación.

## Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.

Para esta etapa se disponen de 3 fermentadores de los cuales se trabaja con solo dos actualmente, tipo LEFRANCOIS con circulación invertida de aire, funcionan a régimen continuo con un flujo de levadura de  $66 \text{ m}^3/\text{h}$ , cada uno, el tiempo de residencia es de aproximadamente 3 h y una velocidad de dilución de  $0.33 \text{ h}^{-1}$  las levaduras transforman la materia orgánica que viene en la vinaza en biomasa en un proceso aireado con el suministro de sales nutrientes y un control de temperaturas igual a  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ , asegurado por un sistema de enfriamiento interno con un flujo de agua de  $400 \text{ (m}^3/\text{h)}$ ; y un PH aproximadamente igual a 4,5. Luego el mosto que sale del fermentador a una concentración de  $(5 - 6) \text{ g/l}$  pasa por gravedad a la cuba de Desemulsión, son equipos de gran volumen abiertos y sin sistema de agitación mecánica, es decir, el aire suministrado al fermentador realiza las dos funciones: suministrar el oxígeno a la levadura y agitar el medio para su homogeneización.

Pueden operar en serie o en paralelo.

- Serie: dos fermentadores en paralelo alimentan al tercero y este alimenta la cuba, es decir todas las producciones pasan por este fermentador.
- Paralelo: los fermentadores funcionan independientemente en paralelo, donde en estos momentos este es el método que se utiliza.

La temperatura de la fermentación se mantiene constante en un valor de  $38^\circ\text{C}$  por el uso de agua de enfriamiento que proviene de un sistema de torre de refrigeración. El modo de enfriamiento desde el interior es mediante un cilindro instalado en el fermentador, este tiene dos objetivos: por un lado, es un intercambiador de calor, constituido de paneles tubulares en el interior de los cuales circula agua de refrigeración, y por otra parte, atendiendo a su forma y su posición actúa como cilindro director que guía la circulación del mosto en el interior del fermentador.

El nivel de líquido en cada fermentador se mantiene constante por la selección de un valor dado. Se ajusta por un presostato que actúa sobre la válvula de trasiego y así modula el caudal del mosto a la salida del fermentador.

Para la regulación del pH cada fermentador va equipado con una bomba alimentando un pH metro automático.

### Desemulsión del mosto.

El mosto que sale de los fermentadores, es sometido a un tratamiento de Desemulsión. La finalidad de este tratamiento es extraer del líquido el aire y el  $\text{CO}_2$  cuya presencia podría molestar las operaciones que siguen.

La alimentación del mosto a esta cuba se efectúa por la parte inferior donde se le adiciona un agente químico antiespumante para romper la espuma del mosto. Al mismo tiempo, se infla por la parte debajo de la cuba una pequeña cantidad de aire de borboleo mediante una rampa interior perforada de agujeros. Una parte del líquido desemulsionado es recuperado por las bombas de las cuales una sirve de auxilio p441, 443 y es pulverizadas sobre la cuba y mediante una rampa perforada de agujeros, este riego tiene por objeto romper la espuma en la superficie de la cuba, luego de ser desgasificado se recupera en la parte inferior de la cuba para ser enviado mediante las bombas p442, 444 a la etapa de separación.

### Separación

La levadura contenida en el mosto desemulsionado es sometida a un tratamiento de separación por fuerza centrífuga donde se cuenta con 8 máquinas que en dependencia del flujo de mosto que se vaya a separar es la cantidad de centrifugas se irán a utilizar. El mosto cargado en levaduras pasa previamente a cuatro filtros, los cuales se disponen en paralelo.

- Filtración: previamente el mosto es cargado por filtros tamizados con el objetivo de asegurar a los separadores una alimentación libre de cualquier partícula grosera que perjudique las máquinas centrifugas, este mosto puede venir acompañada de otras partículas por ser los fermentadores abiertos al igual que la cuba, de aquí el mosto es dirigido hacia los separadores.
- Primera separación : el mosto filtrado pasa dentro de una primera batería de cinco separadores de tipo Alfa-Laval donde ambos funcionan en paralelo, aquí se separa el líquido del sólido, donde la crema de levadura es enviada hacia los tanque receptores de la crema primera R511 -512 . El efluente es enviado hacia el tanque desgasificador y de allí es vertido directamente a zanja.
- Segunda separación: se procede de igual forma donde la crema es recuperada en dos tanques, donde la misma es impulsada por medio de las bombas volumétricas 551-552 para la etapa de concentración. En resumen en esta etapa de separación se utilizan separadores líquido-líquido de donde se obtiene un efluente claro prácticamente libre de levadura, que se suma a la zanja como residual y crema que contiene la levadura a una mayor concentración que a la salida de los fermentadores alrededor de los 100 g/l en unos tanques de de 29 y 26 m<sup>3</sup> respectivamente, la cual se evapora posteriormente, y un flujo

Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.

de salida de 7.9m<sup>3</sup>/h. Se debe señalar que la máquina separadora 6 puede trabajar por primera o segunda. En esta área la pérdida promedio es de un 10%.

Concentración.

La instalación de concentración consta de dos vasos concentradores, es decir de doble efecto y funcionan al vacío con termocompresión. En esta etapa es donde ocurre la plasmólisis (ruptura de la célula) y mediante el proceso de evaporación la crema aumenta su concentración alrededor de 140 (g/l). Luego de que la crema es recogida en la bomba volumétrica, la cual está equipada a un variador de velocidad la crema pasa a través de los calentadores para aumentar la temperatura hasta alrededor de los (85-95°C). Las celdas de levaduras están entonces muertas y su sustancia se pone en una solución de aquí pasa a los plasmolizadores en el cual se mantiene la crema en un tiempo de retención de 6 ó 7 min a alta temperatura para garantizar que mueran las levaduras por derrame, a la salida de los mismos la crema es enviada sucesivamente dentro de los dos cuerpos de evaporación al vacío; utilizándose un evaporador vertical de tubo largo de película descendente de 7m de longitud, apropiado para fluidos viscosos con sólidos en suspensión, cada uno de los evaporadores está equipado por una bomba de recirculación p613-615 y de otra para trasladar la crema, donde el 50% de esta se recircula y el otro 50% se traslada y así posteriormente la crema evaporada es sometida a un proceso de secado.

Los vapores que salen del primer vaso están recomprimidos por el termocompresor y utilizados de nuevo para los recalentamientos, estos vapores van hacia el condensador tubular el cual está alimentado por agua de enfriamiento cuyo caudal regula el vacío que se requiere mantener dentro de la instalación, la extracción de los incondensables es por dos eyectores conectados en serie. El flujo de entrada es de 13m<sup>3</sup>/h y la salida es 7.4m<sup>3</sup>/h. Las aguas condensadas son recuperadas en un tanque desgasificador para acumular la misma para en caso de corte de corriente usarla como alimentación de los separadores R 691, la alimentación de vapor a esta etapa es de 10Kgf/cm<sup>2</sup>

Secado

La crema de levadura está secada de modo continuo gracias a un sistema de atomización dentro de una corriente de gases calientes los cuales están suministrado por un horno directo de combustión de alto grado alimentado por aire y fuel donde este último es recalentado con vapor a

una presión de 3 Kg. /cm<sup>2</sup>, luego se quema en el horno, en este lugar está pulverizado por una inyección de aire procediendo del compresor.

El aire que es necesario a la combustión está suministrado por el ventilador de combustión e inyectado en el horno en el sitio de la cámara de combustión, la mayoría del aire está suministrado por un ventilador de dilución y este aire también está inyectado al horno en la cámara de dilución y luego se mezcla con los gases de combustión donde la temperatura de los gases es de (360-380°C) lo cual calienta el aire, los gases de combustión se ponen en contacto directo con gotas de crema dispersadas por un atomizador que gira a alta velocidad dentro de una cámara. Esto posee un corto tiempo de secado, que no afecta las propiedades del producto, así como la obtención de este en forma de polvo. Los gases contenidos todavía en suspensión después de secada la crema aproximadamente el 30% de la cantidad de levadura están secado. La levadura está separada por dos ciclones en paralelo, donde los gases son enviado a la atmósfera por una chimenea con una temperatura de alrededor de los (80-90°C).

La levadura entonces está recuperada en un 70% debajo de la cámara de atomización y el 30% debajo de los ciclones, la levadura seca en polvo es envasadas en sacos de 25Kg., en esta etapa de secado el parámetro fundamental es la humedad que se requiere que salga con un 8% de humedad y 92% de materia seca.

### Ensacado

Luego de secado se obtiene ya el producto deseado, la levadura torula seca donde es enviado hasta la tolva y es envasada en sacos de 25Kg, la misma tiene una capacidad de almacenamiento de 60 toneladas de levadura, el ensacado es manual.

### **2.3. Descripción de la metodología a emplear para los balances de materiales y Energía.**

El planteamiento y solución de los balances de materiales en el proceso permiten determinar las corrientes que no son medidas o controladas. La cuantificación de estas corrientes es necesaria para confirmar si su comportamiento está en los parámetros normales o no de producción, o sea, permiten detectar anomalías en el proceso.

En una fábrica de levadura forrajera donde único se produce esta, es en los fermentadores, de los cuales se obtiene el mosto fermentado rico en levadura y agotado de nutriente (azúcar, nitrógeno

y fósforo). En el resto del proceso se separa la levadura del medio líquido hasta obtenerla seca para envasar, o en forma de crema evaporada para comercializarla o producir miel proteica.

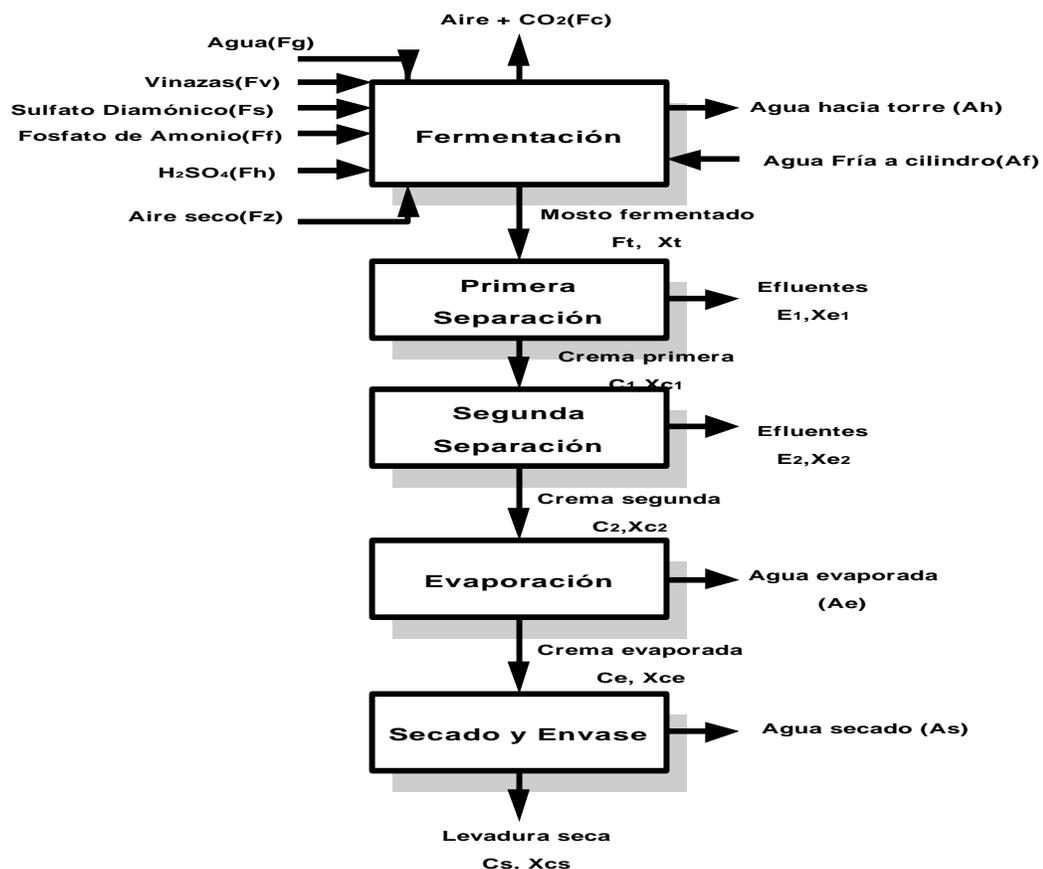
Los pasos sucesivos para lograr esta separación son:

- ◆ Separación centrífuga.
- ◆ Evaporación.
- ◆ Secado.

Donde en cada paso va en aumento la concentración de levadura (materia seca) y se va eliminando efluentes o agua en forma de vapor.

El diagrama de bloques, con las corrientes de entrada y salida a cada etapa del proceso de producción de levadura torula, se muestra a continuación y es la base para el desarrollo de los balances en cada una de las secciones en estudio. Para determinar las cantidades de nutrientes que se necesita en el fermentador se parte de fijar la producción de levadura seca que se va a producir, la cual tomaremos 15 toneladas de levadura seca/día.

**Figura 2.1 Diagrama de bloques general para el balance de materiales en la planta**



### **2.3.1. Cálculo de los Balance de Materiales y Energía.**

#### **2.3.1.1. Balance de materiales en los Fermentadores**

Como los fermentadores trabajan en paralelo y cada uno de ellos constituye una línea de producción, el balance bien puede hacerse con cada uno en particular, o en todos los que funcionan en su conjunto.

El caudal de alimentación de los fermentadores es:

$$F_a = \sum(F_g + F_m + F_s + F_f + F_u), \text{ kg/h,}$$

donde:

$F_g$ : Caudal de agua, (t/h)

$F_m$ : Caudal de miel diluida, (t/h)

$F_s$ : Caudal de sulfato de amonio (t/h)

$F_f$ : Caudal de fosfato de amonio, (t/h)

$F_u$ : Caudal de urea, (t/h)

De acuerdo a la estequiometría del proceso fermentativo, **ICIDCA 1986**, reporta la producción de 145,2 g de  $\text{CO}_2$  y el consumo de 102,5 g de  $\text{O}_2$  por 100 g de levadura producida. Si un fermentador es capaz de producir 538 kg de levadura seca/h, la diferencia entre el  $\text{CO}_2$  producido en el proceso fermentativo y el oxígeno consumido es de 229,83 kg/h. Considerando el mínimo caudal de aire al fermentador; 11 000  $\text{m}^3/\text{h}$  (11 990 Kg/h), la diferencia entre el caudal de aire que entra y el que sale al fermentador se puede considerar cero, para un error del 2%, por lo tanto, para desarrollar el balance de materiales en el fermentador se desprecia esta diferencia.

Como la fermentación es continua, se cumple que:

$$F_a = F_t, \text{ donde:}$$

$F_t$ : Caudal de mosto rico en levadura obtenido de los fermentadores, (kg/h)

Teniendo en cuenta las concentraciones bajas de las sales, miel y levaduras, **Hernández M.T. 1986, ICIDCA 1986**, consideran densidad del mosto fermentado muy próximo a uno, planteando el balance en términos volumétricos, aspecto de interés práctico, considerando que los caudales son medidos por rotámetros y las concentraciones en la industria son calculados en términos volumétricos.

#### **2.3.1.2. Balance de materiales en las separadoras.**

En el proceso de producción se realizan una primera y una segunda separación, de donde se obtienen las cremas de primera y segunda respectivamente.

Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.

La crema de primera es sometida a un lavado, añadiéndole agua para rebajar el contenido de cenizas del producto final. Aunque las separadoras son máquinas independientes y la cantidad a utilizar se determina de acuerdo al número de fermentadores en operación; por estar instalados en paralelo, para el balance se pueden tomar independientes, o el área en su conjunto. Las concentraciones de levadura en el mosto fermentado, crema y efluente de primera y segunda se determinan por análisis de materia seca en el laboratorio.

Matemáticamente podemos expresar en la primera separación:

Balance total

$$F_t = E_1 + C_1$$

balance parcial de materia seca:

$$F_t X_t / \rho_{F_t} = E_1 * X_{e1} / \rho_{E1} + C_1 * X_{c1} / \rho_{C1}$$

$E_1$ : Caudal de efluente de la primera separación (kg/h).

$C_1$ : Caudal de crema obtenida de la primera separación (kg/h).

$X_t, X_{e1}, X_{c1}$ : Concentraciones de levadura en el mosto, el efluente y la crema, respectivamente (g/l).

$\rho_{F_t}, \rho_{E1}, \rho_{C1}$ : Densidad del mosto, el efluente y la crema, respectivamente (kg/l)

En el lavado, la crema resultante de la primera separación se incrementa con agua, obteniéndose una crema lavada  $C_L$  (t/h), con una concentración de materia seca  $X_{CL}$  (g/l) y una densidad  $\rho_{CL}$  (kg/l), quedando:

Balance total:

$$C_L = A_1 + C_1$$

Balance parcial de materia seca:

$$C_L * X_{CL} / \rho_{CL} = C_1 * X_{c1} / \rho_{C1}$$

En la segunda separación ocurre algo similar a la primera separación, con la diferencia que a esta llega el caudal de crema lavada, por lo que tendremos:

Balance total:

$$C_L = E_2 + C_2$$

Balance parcial de materia seca:

$$C_L * X_{CL} / \rho_{CL} = E_2 * X_{e2} / \rho_{E2} + C_2 * X_{c2} / \rho_{C2}$$

Donde  $C_2$  es el caudal de crema de segunda separación (t/h)

$E_2$  el caudal de efluente de segunda separación (t/h)

$X_{C2}$  y  $X_{E2}$  concentración de crema de segunda y la del efluente respectivamente (gr/l)

$\rho_{CL}$ ,  $\rho_{E2}$  y  $\rho_{C2}$ , densidad de la crema lavada, efluente y crema de segunda, respectivamente (kg/l)

Las pérdidas en efluente de separación (Pt) se calculan de la siguiente manera:

$$Pt = E_1 * X_{e1} / \rho_{E1} + E_2 * X_{e2} / \rho_{E2}$$

### **2.3.1.3. Balance de materiales en evaporación.**

En el proceso de evaporación se recibe la crema de segunda ( $C_2$ ; t/h) y se obtiene crema evaporada ( $C_e$ ; t/h) con una densidad  $\rho_{C_e}$  (kg/l) y agua evaporada ( $A_e$ ).

Balance total:

$$C_2 = C_e + A_e$$

Balance parcial de materia seca:

$$C_2 * X_{C2} / \rho_{C2} = C_e * X_{C_e} / \rho_{C_e}$$

### **2.3.1.4. Balance de materiales en secado.**

El secado es la última operación del proceso tecnológico de obtención de levadura torula, y en esta, la crema evaporada se somete a un proceso complejo de pulverización, con el fin de aumentar la superficie de contacto de esta con el aire caliente, en contracorriente, que es la encargada de eliminar la humedad de la crema hasta el valor comercial que posee la levadura seca.

Balance total:

$$C_e = C_s + A_s$$

Balance parcial de materia seca:

$$C_e * X_{C_e} / \rho_{C_e} = C_s * X_{C_s}; \text{ donde:}$$

$C_s$ : Levadura seca (t/h)

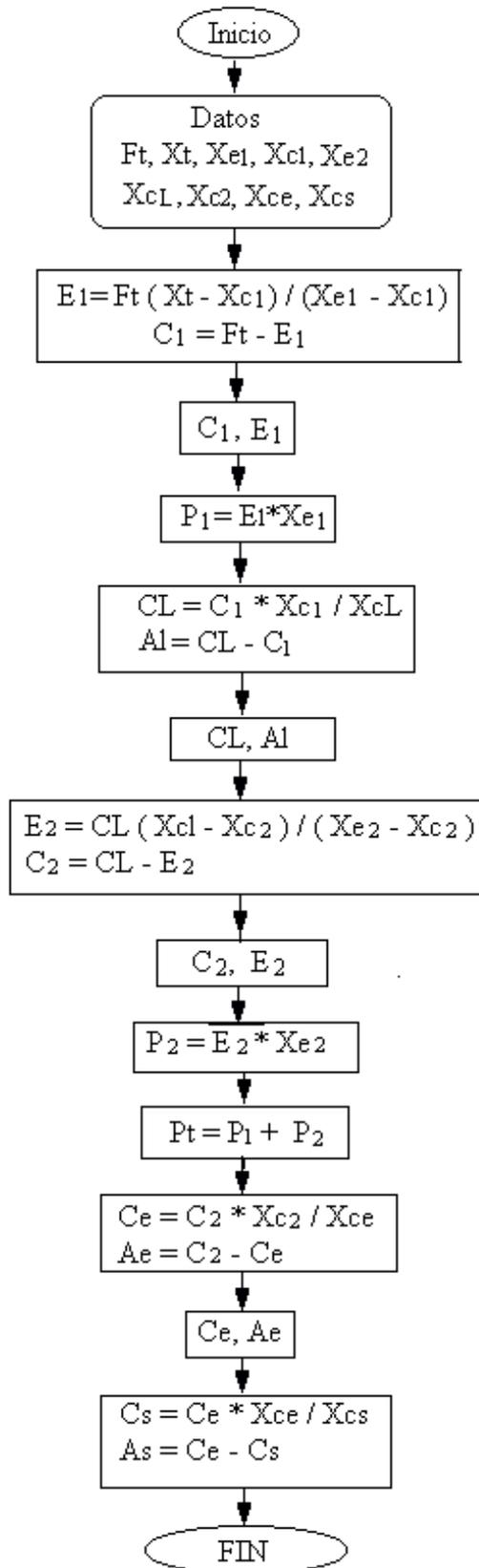
$A_s$ : Agua de secado (t/h)

$X_{C_s}$ : % de sólidos

El algoritmo de cálculo para solucionar el balance de materiales anteriormente descrito, se representa en la figura # 2.

Con este procedimiento, se determina la cantidad de levadura seca a producir ( $C_s$ ), y las pérdidas de levadura en efluentes (Pt), partir del flujo de mosto del fermentador (Ft) y de las concentraciones de levadura en las corrientes; variables medidas periódicamente en la industria.

**Figura # 2** *Algoritmo para el balance de materiales en la planta*

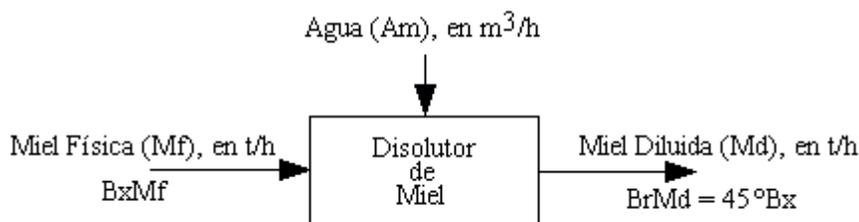


**2.3.1.5. Balance de materiales para la preparación de materias primas.**

Este balance se realiza para conocer los caudales de miel y nutrientes que se deben alimentar a los fermentadores, a partir de un rendimiento estimado, para una producción de levadura (Cs) calculada por el procedimiento de la figura 2. La comparación de estos caudales con los índices reales obtenidos por la industria en la etapa a analizar, da una medida de la eficiencia del proceso y del rendimiento real obtenido en la etapa de fermentación.

**2.3.1.6. Balance de materiales en la dilución de miel.**

Se conoce que la miel se alimenta a los fermentadores a 45 °Bx y por determinación analítica se encuentra el % Bx de la miel física. Por tanto:

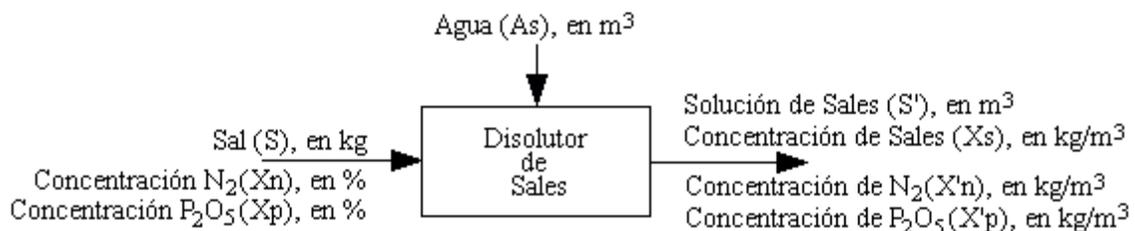


Cuando se realiza el cálculo de la alimentación de miel a un fermentador, una vez conocida la cantidad de miel física requerida, mediante este balance se calcula la cantidad de miel diluida a pasar por los rotámetros:

$$Md = Mf * (^{\circ}Bx \text{ de la miel física}) / (^{\circ}Bx \text{ de la miel diluida}),$$

**2.3.1.7. Balance de materiales en la preparación de sales nutrientes.**

Para ello, se conoce el contenido de nitrógeno y fósforo de cada sal a utilizar y de acuerdo con los caudales de alimentación más convenientes, con la capacidad de bombeo instalada, rango de trabajo de los rotámetros, solubilidad de dichas sales, etc., se fija una concentración de nitrógeno y fósforo en las soluciones, que se preparan por templates en un disolutor.



$$Xs = S/S'$$

$$X'n = Xs * Xn, \text{ g/l ó Kg/m}^3 \text{ de nitrógeno en la solución.}$$

$X_p = X_s \cdot X_p$ , g/l ó Kg/m<sup>3</sup> de fósforo en la solución.

## **2.4 Balance de energía en la fábrica.**

Los balances se plantean en los lugares donde esta presente el intercambio de calor, con el objetivo de conocer el gasto de combustible y su índice por unidad de producto terminado. También se desarrollaron los balances para el sistema de enfriamiento de un fermentador, ya que la elevación de la temperatura de fermentación es una causa importante del decrecimiento de la productividad en la formación de biomasa.

Al igual que para el balance de masa, este permite comparar los valores que teóricamente se deben consumir de vapor y energía por levadura producida y lo que realmente se consume, pudiéndose detectar también anomalías en el proceso.

Los balances de energía a tomar en cuenta son:

Pasterización de la miel diluida.

Termólisis y evaporación.

Secado por atomización.

Enfriamiento de los fermentadores.

### **2.4. Balance de energía**

#### **2.4.1. Balance de energía en pasterización de la miel diluida.**

La miel diluida antes de ser alimentada a los fermentadores es pasterizada. Primeramente se precalienta hasta 60 °C, en un intercambiador de calor de placas, usando como medio de calentamiento la misma miel pasterizada. Posteriormente se inyecta vapor saturado para elevar su temperatura hasta 90 °C y se pasa por dos columnas huecas para darle el tiempo de retención requerida (5 a 6 minutos), depositándose en un tanque de nivel constante. De aquí es bombeada al intercambiador para el pre calentamiento de la miel, terminándose de enfriar hasta 32 °C en el mismo intercambiador, pero con agua de pozo como medio de enfriamiento.

El calor requerido (Qd) para esta etapa se calcula como:

$Q_d = m \cdot c_p \cdot \Delta t$  (kcal/h), donde:

m es el flujo de Miel diluida (Md) a Pasterizar (kg/h).

Cp es capacidad calorífica de la miel diluida y se calcula, **Gutiérrez, J. 1992**, como:

$$C_p = 1 - (0,0056 * B_x). \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

$\Delta t$  es la diferencia de temperatura entre la miel que entra al intercambiador ( $t_2$ ) y la que sale ( $t_1$ ).

El vapor saturado (Vd; kg/h) utilizado en el calentamiento de la miel se calcula por:

$V_d = Q_d/E_1$ , donde  $E_1$  es el calor latente del vapor (kcal/kg).

#### **2.4.2. Balance de energía en el fermentador.**

En el fermentador hay dos fuentes de generación de calor:

1. El generado por la producción de levadura o calor biológico (Ql) y es de 3200 kcal/kg de levadura producida **SPEICHIM 1977**.

$$Q_l = 3200 * M \text{ (kcal/h)}$$

M es la levadura producida en kg/h

2. El Calor traído por el aire o calor de compresión (Qa), es el calor entregado por el trabajo de los sopladores en el bombeo del aire, según el fabricante, **SPEICHIM 1977**, asciende a 860 kcal/kw de consumo de los sopladores.

$Q_a = 860 * f$ , donde f es el consumo de electricidad de los compresores (kw/h)

El calor total producido en el fermentador (Q) es:

$$Q = Q_l + Q_a$$

Este calor es evacuado por las siguientes vías:

- 1.- Saturación del aire de fermentación; este calor (Q'e) se calcula como:

$Q'e = M_a * (E_3 - E_2)$ , donde  $M_a$  es la masa de aire,  $E_3$  y  $E_2$  su entalpia a la salida y entrada respectivamente (kcal/kg).

- 2.- Enfriamiento interior de los fermentadores. Se produce por intermedio del cilindro concéntrico instalado al fermentador, el mismo esta constituido por paneles tubulares por cuyo interior circula el agua de enfriamiento. Este sistema esta dividido en dos partes, una superior y otra inferior.

Las ecuaciones aplicables en este caso son:

$$\Delta t_{m1} = (t - t_3) - (t - t_4) / \ln (t - t_3) / (t - t_4).$$

$$Q'_{it} = K * S_1 * \Delta t_{m1}$$

$$A_{e1} = Q'_{it} / (c_{p1} * \Delta t_{m1} * 1000)$$

donde:

$Q'_{it}$  es el calor extraido en la parte superior (kcal/h).

t temperatura del mosto en fermentación en °C.

t3 temperatura de entrada del agua en °C.

t2 temperatura de salida del agua en °C.

K coeficiente de transferencia de calor en Kcal/°C-m<sup>2</sup> h.

S1 Superficie de intercambio de calor en m<sup>2</sup>.

Ae1 es el agua de intercambio necesaria para extraer Q'it.

cp1 es capacidad calorífica del agua de enfriamiento (kcal/kg °C)

El calor extraído en la parte inferior (Qic) se calcula por las mismas ecuaciones, en este caso,

t3 = t5 temperatura de entrada del agua en en la parte inferior ( °C).

t4 = t6 temperatura de salida del agua en la parte inferior (°C).

S1 = S2 Superficie de intercambio de calor en la parte inferior (m<sup>2</sup>)

$$\Delta t_{m1} = \Delta t_{m2}$$

Ae1 = Ae2 es el agua de intercambio necesaria para extraer Q'ic.

El flujo total de agua es:

$$A_{ef} = A_{e1} + A_{e2}$$

3.- Enfriamiento por el caudal de alimentación, (Q'a).

El caudal de alimentación a un fermentador (Fa) esta constituido por la miel diluida (Md), Agua de dilución (Fg) y soluciones salinas (Ff, Fs y Fu)

El calor extraído por enfriamiento, debido al flujo alimentado, se calcula como:

$$Q_{gs} = (F_g + F_s + F_u + F_f) * c_{p1} * (t - t_7) * 1000; \text{ donde:}$$

Qgs, calor extraído por las corrientes de agua y sales. Como las proporciones de sales son pequeñas, se asume densidad uno y cp 1 kcal/kg °C.

t7 temperatura del agua y las sales (°C)

El calor extraído por el flujo de miel diluida (Qmd en kcal/h) se calcula como:

$$Q_{md} = M_d * c_p (t - t_2) * 1000, \text{ donde:}$$

Md flujo de miel diluida (kg/h)

4.- Chorreo de agua por el exterior de los fermentadores, (Q'r).

Este calor se calcula según el procedimiento descrito para la vía 2 y 3.

#### **2.4.3. Balance de energía en termólisis y concentración.**

Los consumos de vapor y fuel, se calculan según los índices que plantea el fabricante, **SPEICHIM 1977.**

Consumo de vapor = 2350 kg/h para evaporar 4345 kg/h de agua y producir 1,67 t/h de levadura en 22 horas de trabajo al día.

Economía del evaporador = 1,85 kg de agua a evaporar/ kg de vapor producido.

Producción de vapor por la caldera = 1 kg de vapor/0,1 kg de fuel oil.

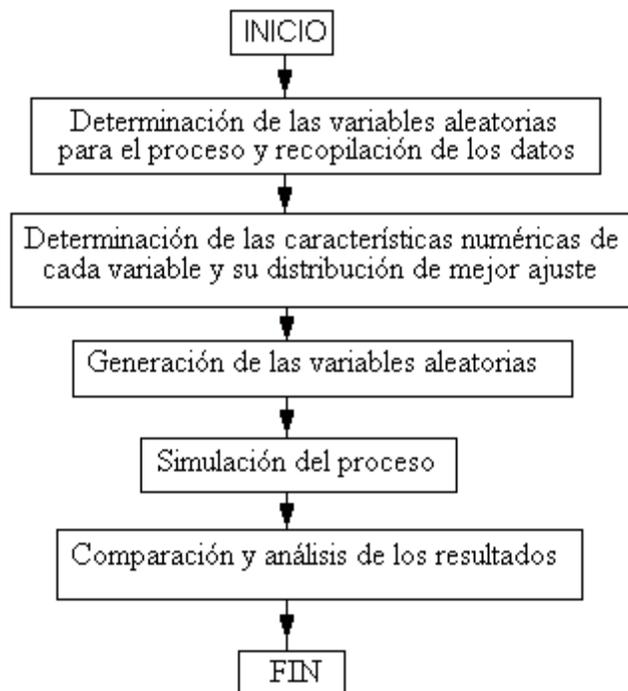
#### **2.4.4. Balance de energía en secado.**

Según el fabricante, **SPEICHIM 1977**, el índice de consumo en el secador es de 0,10 kg de fuel/kg de agua evaporada.

#### **2.5. Balance de materiales y energía considerando la incertidumbre**

Previendo la variabilidad que pueden presentar los parámetros en el proceso, es recomendable la utilización de los balance de materiales y energía mediante las técnicas de incertidumbre, evitando la distorsión en el análisis de los resultados, a la vez que permite predecir el rango de operación más favorable de las variables de entrada para obtener los mejores resultados productivos.

Para desarrollar los balances de materiales y energía considerando la incertidumbre de las variables, se proponen los siguientes pasos:



1. Determinación de las variables aleatorias para el proceso y recopilación de los datos.

Se seleccionan para la realización de los balances de materiales y energía aquellas variables que por su importancia definen el proceso de producción de levadura torula, ya sea por ser variables

que su nivel de variabilidad es grande o aquellas que desempeñan un rol decisivo en el proceso y limitan la calidad del producto final obtenido. La recopilación de datos debe realizarse bajo las condiciones establecidas por **Cardoso G. 1993**.

2. Para determinar las características numéricas de las variables, la distribución de mejor ajuste y la generación de los números aleatorios se pueden utilizar diferentes programas computacionales existentes.
3. La simulación del proceso se hace a partir de los modelos de los balances de materiales y energía o utilizando cualquier otro modelo que caracterice al proceso.
4. La comparación se hace con los valores esperados de las variables analizadas.

Se comenzó el estudio con el análisis de la posibilidad de minimizar el consumo de energía en la planta de torula mediante herramientas de bajo costo. Para aplicar la estrategia es necesario realizar el análisis de incertidumbre para seleccionar la variable respuesta que se tomara como base para realizar el análisis y recopilar todos los datos para los balances.

En el caso que aquí se expone el consumo de energía es el elemento decisivo a considerar para la disminución de los costos en el proceso productivo.

De los balances de masa y energía se toman las variables respuestas.

A partir del planteamiento de los balances de masa y energía se muestran los principales resultados obtenidos en los balances y la comparación de los consumos de vapor reportados en la literatura y los obtenidos en el balance, estos resultados se muestran en la tabla 2.1. Los balances se realizaron a partir de datos reales promedios de 9 mediciones cada una hora aproximadamente en 10 días de producción, de modo que se tiene una muestra de 90 datos. Como puede apreciarse en el resumen que se muestra en la tabla 2.2, existen variaciones significativas en los resultados, las que están dadas por dispersiones en las variables de entrada. Como es de esperar estas variaciones traen como resultado niveles de producción dispersos, ineficiencia energética, desbalances en el proceso tanto tecnológico, como económico que son importantes cuantificar.

Es por lo expuesto, que se hace necesario realizar un análisis de incertidumbre a través del cual se identifiquen los intervalos de variación de las variables de entrada de mayor influencia y su impacto en las respuestas.

Para el análisis univariable se tuvieron en cuenta las variables de entrada que tienen un efecto en las variables de salida. Estas variables de entrada son:

1. Flujo de miel
2. Brix de la miel diluida (calentador que consume vapor )

3. Temperatura de salida calentador que consume vapor
4. Temperatura de entrada calentador que consume vapor
5.  $\lambda_{vap}$  (presión y temperatura de vapor de escape)
6. Flujo de crema que entra al pre- evaporador
7. Brix entrada al pre- evaporador
8. Brix sal al pre- evaporador
9. h cuerpo del pre- evaporador
10.  $h_v$  calandria del pre- evaporador
11.  $\Delta T$  en el pre- evaporador
12. Flujo de crema que entra al múltiple
13. Brix entrada al múltiple
14. Brix salida al múltiple
15.  $h_{cu}$  entalpía en el cuerpo
16.  $h_c$  entalpía en la calandria
17. Temperatura de entrada al múltiple

Como variables respuestas se tomaron:

1. Torula producida.
2. Miel protéica.
3. Electricidad consumida.
4. Vapor de escape consumido.

El estudio comienza con el análisis del comportamiento de las variables mencionadas anteriormente con el objetivo de detectar cual es la ley de probabilidad asociada a cada una de ellas. Para ello se utilizó el programa Statgraphics 4.1. Las funciones de distribución probabilística en todos los casos fueron, distribución normal. De aquí se pasa al análisis univariable para ver cuales son las variables significativas para las cuales se reportó más de un 5 por ciento de variación en las variables de salida, dando lugar a un primer tamizado.

En la tabla 2.1 se muestran las variables de entrada que resultaron significativas con sus coeficientes de variación.

**Tabla 2.1 Variables de entrada que resultaron significativas en el análisis univariable.**

VARIABLES DE ENTRADA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Flujo de miel	10,28
T entrada calentador	23,06
T salida calentador	26,20
Flujo de crema que entra al pre	18,01
Entalpía calandria pre	10,89
Brix de entrada pre	27,22
Flujo de crema que entra al múltiple	16,15
Entalpía en el cuerpo del múltiple	8,86
Entalpía en la calandria del múltiple	11,19

**Tabla 2.2 Comparación de los consumos de vapor reportados en la literatura y los obtenidos por el balance.**

EQUIPOS	REPORTADO LITERATURA (ESPINOSA, 1984)	CALCULADO
3 calentadores	0Kg vp/h y 100Kg v/h	965,5 Kg de vp/h
pre-evaporadores	130Kg vp/h y 310Kg de vp/h	654,5 Kg de vp/h
Cámara de secado	130Kg vp/h y 310Kg vp/h	505,63 Kg de vp/h

Como puede apreciarse todos los consumos se encuentran considerablemente por encima de la norma lo que demuestra la ineficiencia energética que tiene el proceso analizado. Lo anterior exige un análisis energético más detallado del proceso con el objetivo plantear alternativas de solución.

**Tabla 2.3 Resultados de los balances de masa y energía en la fábrica de torula.**

Día	torula (t/d)	Miel proteica (t/d)	Consumo de miel B (t/d)	Consumo de vapor de escape(t/d)	Consumo de vapor vegetal (t/d)	Consumo de agua(t/d)
1	8	55,9	5,6	572,87	428,8	1186,86
2	10	54,30	8,5	477,41	537,57	1691,33
3	9	106	7	653,34	938,27	1577,63
4	7	83,79	5,1	582,55	725,77	2077,53
5	8	82	4,5	720,42	647,89	1849,89
6	13	112,10	5,0	949,89	932,4	1824,14
7	8	67,90	5,1	776,21	880,32	1787,07
8	11	103,11	4,5	988,21	1140,35	2139,39
9	10	81,50	5,2	846,78	1203,56	1785,29
10	9	83,60	5,5	1022,11	836,26	2005,77

Se realizó el análisis de incertidumbre por el método de Monte Carlo.

**Tabla 2.4 Estimación de la incertidumbre en las variables de salida.**

<b>Variables de salida</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Media</b>	<b>Límite superior</b>	<b>Coficiente de variación</b>
Torula producida (t/h)	13,74	18,27	22,61	10,34
Miel Proteica(t/h)	3,84	5,11	6,33	10,35
Electricidad consumida(Kw/h)	374,82	498,28	616,84	10,34
Vapor de escape consumido (t/h)	16,20	35,42	54,03	22,58

En la tabla 2.4 se puede apreciar como varían los límites de las variables respuestas como es la torula producida que varía desde 13,74t/h a 22,61t/h, la miel proteica que es de 3,84t/h a 6,33t/h entre otras. De esta forma se muestra la importancia de determinar la incertidumbre ya que se conocen los intervalos reales de producción en que trabaja el proceso.

Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.

Con la determinación de la incertidumbre en las variables respuestas en los balances de materiales y de energía se puede apreciar el impacto que tiene ésta en los resultados ya que si no se tiene en cuenta este aspecto en los análisis se desconoce el rango de producción y consumo del proceso en estudio.

Utilizando las herramientas fundamentales de la Gestión Eficiente de la Energía, se evalúa energéticamente el proceso tecnológico de la producción de torula en esta fábrica, donde hemos determinado los principales portadores energéticos, áreas y equipos de mayor consumo de energía, buscando una mejor relación entre la producción y la energía empleada.

Se ha relacionado los dos últimos años de producción de la fábrica; donde:

Los años 2011 y 2012 la producción fue utilizando miel como materia prima. Se relaciona el comportamiento de los gastos anuales por partidas en Moneda Nacional, determinando el % que representa el total de gasto energético contra los gastos totales de la empresa en la tabla 2.5

**Tabla 2.5 Influencia del gasto energético en el costo de producción estructura de gastos anuales por partidas en MN.**

Partidas	Valor (\$)	%	Acumulado
<b>Año 2012</b>			
Energéticos	552312,15	35,81	35,81
Otras materias primas fundamentales	366668,01	23,77	59,58
Otros materiales	166392,2	10,79	70,36
Otros gastos monetarios	85824,08	5,56	75,93
Salario	81245,01	5,27	81,20
Materia prima(miel final)	146433,36	9,49	90,69
Depreciación y amortización	143627,65	9,31	100,00
Total	1542502,46	100,00	
<b>Año 2013</b>			
Energéticos	431875,4	40,36	40,36

Otras materias primas fundamentales	224829,97	21,01	61,37
Otros materiales	130186,1	12,17	73,53
Otros gastos monetarios	113567,56	10,61	84,14
Salario	58994,06	5,51	89,66
Materia prima(miel final)	55910,06	5,22	94,88
Depreciación y amortización	54774,6	5,12	100,00
Total	1070137,75	100,00	

Se puede apreciar que los energéticos tienen un gran peso sobre las partidas, porque representan entre un 35 y un 40 % de los gastos totales. Por la importancia que revisten se analizará el consumo y los costos de los portadores energéticos, para lo cual establecemos la estructura de consumo de los mismos

**Tabla 2.6 Análisis del consumo de la energía eléctrica**

<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA EN LA FÁBRICA.</b>			
Área	Energía (kWh)	%	% Acum.
Fermentación	732,58	58,63	58,63
Cuarto Bombas	177,87	14,24	72,87
Secado	175,92	14,08	86,95
Separación	100,44	8,04	94,99
Calderas	39,32	3,15	98,13
Evaporación	16,57	1,33	99,46
Mieles	3,04	0,24	99,7
Ensacado	2,75	0,22	99,92
Oficinas	0,95	0,08	100
Total	1249,44		

Con esta tabla se puede ver como se distribuye el consumo de la energía eléctrica por áreas en la fábrica. Observemos que las tres áreas más consumidoras de energía eléctrica son: fermentación, cuarto de bomba y secado, que consumen el 87 % de la energía. Así hemos determinado que en dicha fábrica esta energía está repartida en tres puestos claves.

## **2.6. Análisis de las posibles alternativas en la operación de secado.**

El proceso de producción de levadura Torula seca demanda grandes consumos de energía los cuales influyen notablemente en el costo del producto final. Es por ello que es necesario implementar en un grupo de medidas técnicas a fin de atenuar esta situación, teniendo en cuenta el incremento sostenido del precio de los hidrocarburos en el mercado internacional y el hecho de que nuestra planta trabaja con Fuel-Oil importado se hace necesario la búsqueda de alternativas tecnológicas para el uso más racional y eficiente de la energía en este marco donde surge nuestra propuesta a fin de disminuir los gastos energéticos en el proceso de secado que representan el 66% del fuel oil 18% de la electricidad y el 45% del costo de producto final sumándose el 38% de la eficiencia energética.

Se debe tener en cuenta que existe una interrelación directa entre la producción de vapor y el proceso de secado ya que las cremas deben ser previamente evaporadas y el quemador de Fuel-oil del horno de secado se pulveriza con vapor.

El proceso de secado de Levadura Torula está concebido por el contacto directo de las cremas atomizada con los gases calientes a 360 grados provenientes de un horno de combustión.

Uno de los más graves problemas es el consumo de combustible, para disminuir el mismo, se plantean varias alternativas:

- 1.) Aprovechamiento del agua evaporada a la salida del secadero que es sumamente grande con un flujo de 5524Kg/h, instalando un intercambiador de calor para condensar estos vapores y reutilizarlo en la dilución de la miel, también hay que tener presente el factor económico. Estas aguas tiene como limitación que producto de la materia prima que se emplea y de los gases de combustión son aguas ácidas por lo que no se puede aprovechar en gran medida solo podría ser utilizada para este fin.
- 2.) Otra variante para el mejoramiento de la eficiencia del secador seria trabajar en el aumento de las concentraciones de cremas de salida del evaporador mediante la

instalación de otro efecto de evaporación al vacío. El sistema de evaporación está formado por dos calentadores primarios, dos plasmolizadores, un termocompresor y un doble efecto al vacío, formado por dos evaporadores de película descendente además de un condensador horizontal que realiza vacío sobre el segundo vaso, los incondensables son extraídos por dos eyectores de marcha conectados en serie. La propuesta es crear un triple efecto de evaporación instalando otro cuerpo entre el primero y segundo para de esta forma aumentar la concentración de salida de la crema en 30gr/L.

- 3.) Otra alternativa sería llevar a cabo el diseño de un sistema de calentamiento para el aire de dilución a partir de la energía presente en las vinazas cuando se trabaja con esta.
- 4.) Utilizar los gases de la caldera que salen con una temperatura de más de 200 °C.
- 5.) En el caso de estudio, además de identificar las corrientes frías y calientes en el proceso, se puede determinar cuál es la temperatura máxima que puede alcanzarse en el aire de dilución si para su calentamiento se emplean corrientes calientes del proceso y se establece como restricción que en ese nivel de temperatura no exista consumo de utilidad caliente, además para cada temperatura evaluada se determinará, en caso de que sea necesario una utilidad caliente, la masa de vapor que se requiere y el gasto de combustible que implica producirlo y también el consumo total de combustible en la etapa de secado y en el proceso.
- 6.) Es por esto que se considera el hecho de que uno de los fluidos que necesita ser enfriado realmente en el proceso es la vinaza la cual se utiliza como sustrato orgánico en la fermentación; por su importancia en el flujo tecnológico, el diseño del sistema necesario para el calentamiento del aire de dilución se llevará cabo a través de la recuperación de la energía presente en la vinaza.

## **2.7. Conclusiones Parciales.**

1. Existe un desbalance energético en la planta ya que los consumos de vapor de los equipos están muy por encima de lo reportado en la literatura.
2. Existen variaciones significativas en las variables respuestas las que a su vez están dadas por dispersiones en las variables de entrada lo que provoca variaciones en los niveles de producción, ineficiencia energética y desbalances tecnológicos en el proceso lo cual traerá como resultado una influencia en los indicadores económicos del mismo.

Capítulo 2 Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la planta de Levadura Torula.

3. Las variables respuestas producción de Torula producida, Miel Proteica, electricidad consumida, y vapor de escape consumido 1, tienen un coeficiente de variación que va desde 10,34 hasta 22,52 por ciento

### **Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.**

#### **3.1. Integración energética en el proceso de producción de torula.**

Como se ha mencionado, en el proceso de producción de torula que se está estudiando existe un elevado consumo de combustible (fuel oil) en la etapa de secado, lo cual disminuye la eficiencia del proceso.

En este trabajo se ha analizado la posibilidad de reducción del consumo del combustible a través del calentamiento del aire de dilución suministrado en el horno generador de gases de combustión, ya que como se explicó en la descripción del proceso, en esta etapa el aire a temperatura ambiente es mezclado con gases de la combustión hasta alcanzar una temperatura entre 370 y 385 °C por lo que se requiere un considerable gasto de combustible, no obstante haciendo un análisis del proceso se identifica la posibilidad de calentamiento del aire empleando corrientes que existen en el proceso en cuestión y que tienen determinada calidad térmica que puede ser recuperada y aprovechada.

La integración energética, es una herramienta a través de la cual se pueden identificar las oportunidades para el mejor intercambio de calor entre corrientes del propio proceso y de esta forma aprovechar el calor de las mismas y elevar así la temperatura de entrada del aire, por lo que éste es un aspecto a profundizar en esta industria.

A través de la integración de procesos además de identificarse las corrientes que tienen posibilidades de ser aprovechadas, pueden realizarse análisis e identificar aspectos tales como: el requerimiento mínimo de utilidades en el proceso, las corrientes frías y calientes con oportunidades de intercambiar energía térmica, entre otros aspectos que contribuyen a la eficiencia energética del proceso.

En el caso de estudio, además de identificar las corrientes frías y calientes en el proceso, se puede determinar cuál es la temperatura máxima que puede alcanzarse en el aire de dilución si para su calentamiento se emplean corrientes calientes del proceso y se establece como restricción que en ese nivel de temperatura no exista consumo de utilidad caliente, además para cada temperatura evaluada se determinará, en caso de que sea necesario una utilidad caliente, la masa de vapor que se requiere y el gasto de combustible que implica producirlo y también el consumo total de combustible en la etapa de secado y en el proceso.

### **3.2. Análisis Inversionista de las Alternativas.**

En el capítulo dos se describen varias alternativas para disminuir el consumo de combustible fósil, para el análisis inversionista vamos a describir tres alternativas de estas a la mejor alternativa se hará el análisis correspondiente.

#### **Alternativas propuestas:**

1. Uno de los fluidos que necesita ser enfriado realmente en el proceso es la vinaza la cual se utiliza como sustrato orgánico en la fermentación; por su importancia en el flujo tecnológico, el diseño del sistema necesario para el calentamiento del aire de dilución se llevará cabo a través de la recuperación de la energía presente en la vinaza.
2. Calentar los gases de dilución ya que estos no se calientan, es decir para obtener los gases de combustión para el secado de la crema se mezclan los gases de dilución que son impulsados por medio de un ventilador que toma el aire atmosférico y los gases producto de la combustión con el fuel oil, el mismo se podría llevar a cabo utilizando los gases de escape de la caldera , los gases de escape del grupo electrógeno situado a 300 m de longitud, para esto hay que tener en cuenta el tipo de tubería pues sería para transportar gases, válvulas, aislamiento, espesor del mismo , soplador , es decir corroborar estas posibilidades con el costo de todos los accesorios adecuados a instalar y compararlo para ver si se logra disminuir el consumo de combustible.
3. Otra de las alternativas es aprovechar el agua evaporada a la salida del secadero que es sumamente grande con un flujo de 5524Kg/h, instalando un intercambiador de calor para condensar estos vapores y reutilizarlo en la dilución de la miel, también hay que tener presente el factor económico. Estas aguas tiene como limitación que producto de la materia prima que se emplea y de los gases de combustión son aguas ácidas por lo que no se puede aprovechar en gran medida solo podría ser utilizada para este fin.

De las alternativas propuestas, el análisis inversionista se le haremos a la 1.

Uno de los fluidos que necesita ser enfriado realmente en el proceso es la vinaza la cual se utiliza como sustrato orgánico en la fermentación; por su importancia en el flujo tecnológico, el diseño del sistema necesario para el calentamiento del aire de dilución se llevará cabo a través de la recuperación de la energía presente en la vinaza para recuperar esta energía se necesita diseñar un intercambiador de calor.

**Diseño del intercambiador de calor necesario para el calentamiento del aire de dilución a partir del calor de la vinaza.**

Balance térmico:

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

Datos del fluido caliente (Vinaza)	Datos del fluido frío (Aire de dilución)
Flujo (mv) = 61t/h = 61000 Kg/h = 16,9 Kg/s	Flujo (ma) = 45833 m <sup>3</sup> /h = 14,8 kg/s
Temperatura de entrada (T1) = 85 °C	Densidad (ρa) = 1,1645 Kg/m <sup>3</sup> (Allprops)
Temperatura de salida (T2) = 34,5 °C	Cpa = 0,241 Kcal/Kg*K = 1,009 kJ/kg°C (Allprops)
ΔT = 50,5 °C	Temperatura de entrada (t1) = 30 °C
°Brix (°Bx) = 8,4	Temperatura de salida (t2) = ? °C
Cpv = 1 - 0,006 * °Bx = 0,99 Kcal/Kg°C = 4,145 kJ/kg°C	Presión = 1 atm
Densidad (ρv) = 1033,1 Kg/m <sup>3</sup>	

Hallando el calor cedido por la vinaza (Qc).

$$Q_c = m_v * C_{p_v} * \Delta T$$

$$Q_c = 844,92 \text{ Kcal/s} = 3537511,1 \text{ J/s (W)}$$

Hallando la temperatura de salida del aire (t2).

$$Q_g + \eta * Q_c = 0 \quad \eta = 100\%$$

$$Q_g = Q_c$$

$$t_2 = \frac{Q_g}{(m_a * C_{p_a})} + t_1 = 539,88 \text{ K} = 266,88 \text{ °C}$$

Como se puede observar este valor de temperatura de salida del aire de dilución es absurdo ya que la vinaza se recibe a 85 °C, o sea que el aire no pudiera calentarse hasta un valor por encima de este; esto ocurre porque el contenido energético que presenta la vinaza es superior al necesario para elevar la temperatura del flujo de aire introducido al horno.

Debido a lo explicado anteriormente se toma la decisión de fijar una temperatura de salida del aire igual a 70 °C y determinar para esto, qué flujo de vinaza sería el necesario.

**Tabla 3.1:** Diseño del intercambiador de calor de flujos cruzados.

Pasos	Ecuaciones	Datos	Incógnita	Resultados
Balance térmico	$Q_g = m_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_a$ $Q_g = Q_c = m_v \cdot C_{pv} \cdot \Delta T_v$ $m_v = Q_c / C_{pv} \cdot \Delta T_v$	$\Delta T_a = 70 - 30 = 40^\circ\text{C}$ $\Delta T_v = 85 - 34,5 = 50,5^\circ\text{C}$	$Q_g$  $m_v$	142,92 Kcal/s  2,83 Kg/s
Cálculo de la $\Delta t$ verdadera	$MLDT = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$ $*P = t_1 - t_2 / t_1 - T_1$ $**Z = m_f \cdot C_{pf} / M_c \cdot C_{pc}$ $\Delta t$ verdadera = $F_t \cdot MLDT$	$\Delta t_1 = 85 - 70 = 15$ $\Delta t_2 = 34,5 - 30 = 4,5$ Fluido sin mezclar en los tubos y mezclado en el espacio intertubular.	MLDT P Z ***Ft $\Delta t$ verdadera	8,72 0,7 1,27 0,82 7,15
Selección de Ud	Tabla 4.15a pág.182 Urlich		Ud	85 W/m <sup>2</sup> *°C
Cálculo del Área aproximada	$A = Q / U_d \cdot \Delta t$ verdadera	$Q_g = 598376,496 \text{ W}$	A	984,39 m <sup>2</sup>
Cálculo del Nt (# de tubos)	$N_t = A / a' \cdot t \cdot L$	$*'a't = 0,1963 \text{ pie}^2/\text{pie}$  L = 20 pie	Nt	2460,99

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

**Fijación del arreglo		DE =0,75 plg BWG= 10 DI=0,482 plg	Arreglo  Pt  Nt  n	Triangular  0,94 plg  2500  12
Cálculo del Área corregida	A. corregida= Nt*a't*L	a't*L=3,926 pie <sup>2</sup>  =0,4 m <sup>2</sup>	A.corregida	1000 m <sup>2</sup>
Cálculo del Ud corregido	Ud. corregido= Q/A. corregida*Δt verdadera		Ud. corregido	83,67 W/m <sup>2</sup> °C
<b>Rechequeo</b>				
T de evaluación		Viscosidad de la vinaza (μv)(Pa*s)=0,00044 ***Viscosidad del aire (μα)(Pa*s)=0,000019	Temperatura de trabajo	Temperaturas medias**
Ubicación de los fluidos			Vinaza  Aire	Por los tubos.  A través del banco de tubos.

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

<p>Cálculo de <math>h_i</math> (coeficiente pelicular interior)</p>	$a_t = Nt \cdot a' / 144 \cdot n$ $V = mv / \rho v \cdot a_t$ $Re = V \cdot DI \cdot \rho v / \mu$ $Pr = Cp v \cdot \mu v / K v$ $h_i = (JH \cdot K / DI) \cdot Pr^{(1/3)} \cdot (Pr_f / Pr_p)^{0,14}$	<p><math>DI = 0,482 \text{ plg} = 0,012 \text{ m}</math></p> <p>Conductividad de la vinaza (Kv) (W/m<sup>3</sup>K)=0,596</p> <p><math>a' = 0,182 \text{ plg}</math></p> <p><math>Pr = (Pr_f / Pr_p)^{0,14} = 0,93</math></p>	<p>at</p> <p>V</p> <p>Re</p> <p>Pr</p> <p>****JH</p> <p>hi</p>	<p>0,2 pie<sup>2</sup></p> <p>0,27 m/s</p> <p>7722,33</p> <p>3,06</p> <p>22</p> <p>1475,3 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Cálculo de <math>h_o</math></p>	$h_o = h_i \cdot (DI / DE)$		<p>hio</p>	<p>948,1 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Cálculo de <math>h_o</math> (coeficiente pelicular exterior)</p>	$A_s = C' \cdot N_o \cdot L$ $C' = Pt - d_0$ $V = ma / \rho_a \cdot A_s$ $De = 4 \cdot (0,5 \cdot Pt \cdot 0,86 \cdot Pt - 0,5 \cdot \pi \cdot d_0^2 / 4) / (0,5 \cdot \pi \cdot d_0)$ $Re = V \cdot De \cdot \rho_a / \mu_a$ $h_o = 28,715 \cdot (V^{0,6} / d_o^{0,4})$	<p><math>DE = d_0 = 0,75 \text{ plg}</math></p> <p>Densidad del aire a la T media (<math>\rho_a</math>) = 1,1272 Kg/m<sup>3</sup></p> <p><math>N_o = 49</math></p>	<p>as</p> <p>C'</p> <p>V</p> <p>De</p> <p>Re</p> <p>ho</p>	<p>1,176 m<sup>2</sup></p> <p>0,19 plg</p> <p>11,18 m/s</p> <p>0,013 m</p> <p>8625,77</p> <p>110 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Cálculo de <math>U_c</math></p>	$U_c = h_o \cdot h_o / (h_o + h_o)$		<p>Uc</p>	<p>98,6 W/m<sup>2</sup>°C</p>
<p>Cálculo de <math>R_d</math> (factor de obstrucción)</p>	$R_d \text{ .calc} = U_c - U_d / (U_c \cdot U_d)$		<p>Rd.calc</p>	<p>0,0018 m<sup>2</sup>°C/W</p>
<p>Selección de <math>R_d</math> requerido</p>	$R_d \text{ .req} = R_{di} + R_{do}$	<p><math>R_{di}</math> (líquidos orgánicos) = 0,001 m<sup>2</sup>°C/W</p> <p><math>R_{do}</math> (aire) = 0,0004</p>	<p>****<math>R_d</math>.req</p>	<p>0,0014 m<sup>2</sup>°C/W</p>

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

		$m^2 \cdot ^\circ C/W$		
<b>Rd.calc &gt; Rd.req</b>				
”Cálculo del % de área en exceso	$\% \text{ de área en exceso} = \frac{(Rd.calc - Rd.req)}{Rd.req} \cdot 100$		% de área en exceso	28,5 %
<b>Caída de presión</b>				
^Por los tubos	$\Delta P_t = \Delta P_r + \Delta P_L$ $\Delta P_r = \xi \cdot (n \cdot L) / DI \cdot (\rho v \cdot V^2) / 2$ $\Delta P_L = \phi_t \cdot (\rho v \cdot V^2) / 2$ $\xi = 0,3164 / Re^{0,25}$ <p>Cámara de entrada o salida (Ces) = <math>n \cdot 2 \cdot 1,5</math>  Giro en 180° entre pasos o secciones (G) = <math>(n-1) \cdot 2,5</math>  Entrada en los tubos o salida de estos (ESt) = <math>1 \cdot 2 \cdot n</math>  <math>\Phi_t = Ces + G + ESt</math></p>	$V = 0,27 \text{ m/s}$ $Re = 7722,33$	$\xi$ Ces G ESt $\Phi_t$ $\Delta P_r$ $\Delta P_L$ $\Delta P_t$	0,03 36 27,5 24 87,5 7858,11 Pa 3395,28 Pa 11253,39 Pa
Por el espacio intertubular	$\Delta P \text{ total} = \Delta P \text{ en, sal} + \Delta P \text{ cruce de haz}$ $\Delta P \text{ en, sal} = \phi \cdot ((\rho a \cdot V^2) / 2)$ $\Delta P \text{ cruce de haz} = \xi \cdot (N+1) \cdot ((\rho a \cdot V^2) / 2)$ <p>entrada en el espacio intertubular o salida de este (<math>\phi</math>) = <math>1,5 \cdot 2</math>  <math>\xi = (5,4 + 3,4 \cdot m) \cdot Re^{-0,28}</math></p>	$V = 11,18 \text{ m/s}$ $N = 0$ $Re = 8625,77$ $m = 50$	$\xi$ $\phi$ $\Delta P \text{ en, sal}$ $\Delta P \text{ cruce haz}$ $\Delta P \text{ total}$	13,9 3 218,50 Pa 1010,02 Pa 1228,52 Pa
<b>Rendimiento del equipo</b>				

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

e	$e = (Q_{real} / Q_{m\acute{a}x}) * 100$ $Q_{m\acute{a}x} = m_a * C_{pa} * (T_1 - t_1)$	$Q_{real} = 142,92$ Kcal/s $Q_{m\acute{a}x} = 196,2$ Kcal/s	e	72.8 %
---	--	--	---	--------

La leyenda de la tabla puede observarse en el anexo 4 y en el anexo 5 se pueden observar vistas del intercambiador diseñado.

**Tabla 3.2:** Resumen de parámetros fundamentales del intercambiador diseñado:

L(m)	Ancho (m)	Distancia entre cada haz de tubos (plg)	Altura (m)
6	1.19	3	2

En el anexo 6 se observa el diagrama de flujo del proceso con la incorporación del intercambiador diseñado.

Para la estimación del costo de la inversión es necesario tener en cuenta las modificaciones que se implementarán en el proceso siendo en este caso el intercambiador de calor, por lo que su costo corresponde al costo total de equipamiento.

Los costos fueron actualizados para el año 2013.

$$Costo_{actual} = Costo_{original} * \frac{indice_{actual}}{indice_{original}}$$

Índice actual.....587,7 (*Chemical engineers, 2013*)

Índice original.....525,4 (*Año 2007*)

Equipos	Costo original (\$)	Costo actual (\$)
Intercambiador de calor	105600	117719,7

**3.3. Determinación del costo total de la inversión (CTI).**

La estimación del costo total de inversión se realizó utilizando los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes a la tabla 17 del Peters.

$$C_{TI} = \text{Costo fijo de inversión}(C_{FI}) + \text{Inversión de trabajo}(I_T)$$

$$C_{FI} = \text{Costos directos}(C_D) + \text{Costos indirectos}(C_I)$$

**Tabla 3.3:** Determinación del costo total de la inversión.

		Costo (\$)
Fracción del costo de equipamiento	0,10	11771,97
Costo de equipamiento más 10 % del mismo (1).		129491,67
<b>Costos directos</b>		
	Fracción de (1)	
Instalación del equipamiento	0,47	60861,08
Instrumentación y control	0,18	23308,50
Instalación de tuberías	0,66	85464,50
Instalaciones eléctricas	0,11	14244,08
Construcción	0,18	23308,50
Movimientos de terreno	0,10	12949,16
Facilidades de servicio	0,70	90644,16
<b>Costo total</b>		<b>440271,67</b>
<b>Costos indirectos</b>		
Ingeniería y supervisión	0,33	42732,25
Gastos de construcción	0,41	53091,58
Gastos legales	0,04	5179,66
Derecho de contrato	0,22	28488,16
Contingencia	0,44	56976,33
<b>Costo total</b>		<b>186468,00</b>
<b>Costo fijo de la inversión</b>		<b>626739,68</b>
Inversión de trabajo	0,89	<b>115247,58</b>
<b>Costo total de la inversión</b>		<b>741987,26</b>

**Tabla 3.4:** Determinación del costo total de producción.

Componentes	Factor por defecto* base	Costo (\$/año)
Materias primas	-	1323068,01
Mano de obra	-	574391,40
Operación y supervisión	0,1*Mano de obra	57439,14

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

Utilidades	-	1730052,00
Mantenimiento y reparaciones	0,02*CFI	4178,26
Suministro a operaciones	0,1*Mantenimiento y reparaciones	417,82
Gastos de laboratorio	0,05* Mano de obra	28719,570
<b>Costos Variables</b>		<b>3718266,22</b>
Impuestos	0,01*CFI	2089,13
Seguros	0,004*CFI	835,65
<b>Cargos fijos</b>		<b>2924,78</b>
<b>Costos de producción</b>		<b>3721191,00</b>
Administración	0,15* labor y supervisión	63600,88
Distribución y venta	0,02*CTP	78849,83
Investigación y desarrollo	0,02*CTP	78849,83
<b>Gastos generales</b>		<b>221300,54</b>
<b>Costo total de producción</b>		<b>3942491,55</b>

**Tabla 3.5: Indicadores dinámicos.**

Parámetros	U/M	MN
<b>VAN</b>	<b>MP</b>	<b>9867,3</b>
<b>TIR</b>	<b>%</b>	<b>40</b>
<b>PRD</b>	<b>año</b>	<b>4.5</b>

Los indicadores dinámicos obtenidos muestran la factibilidad del proyecto, además en cuatros años y medio se recuperaría la inversión, por lo que sería factible poner en marcha este proyecto.

**3.4. Propuesta de suministradores de los recursos para la inversión.**

Se contratará el suministro de los recursos y equipos con AZUIMPOR mediante la Agencia de AZUMAT y el montaje con brigadas de ZETI.

**Tabla 3.6 Cronograma de ejecución de la obra.**

No	Descripción de tareas	Fecha de ejecución							
		2016				2017			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Solicitud de Ofertas	X							
2	Revisión de las ofertas		X						
3	Compra del equipo y los accesorios			X	X				
4	Preparación para el montaje					X			
5	Ejecución del montaje						X	X	
6	Puesta en marcha								X

**3.5. Evaluación económica de parámetros fundamentales en diferentes escenarios.**

Se realiza un análisis económico, primeramente se comparan parámetros relevantes (los parámetros definidos como relevantes son utilidades del proceso que al realizar cambios se ven influenciados) que varían según los dos escenarios analizados y posteriormente se efectúa para uno de los escenarios una evaluación total, determinando los indicadores dinámicos económicos, con vistas a analizar la factibilidad del mismo. Para llevar a cabo este análisis se considera una producción de torula de 0,97 t/h (según balances del capítulo anterior) y 300 días al año de trabajo.

Para la estimación de los costos involucrados en el análisis se siguió la metodología que aparece en Peters, 2003, la cual se ha implementado en una hoja en Excel para facilitar los cálculos. Para la evaluación económica también fue necesario tomar datos reales de los procesos de producción en las fábricas en cuestión.

En el anexo # 6 aparece la ficha de costos de la empresa de la cual se tomaron datos para la evaluación.

Para llevar a cabo este análisis se asumieron dos escenarios:

Escenario # 1: Análisis económico de parámetros relevantes en el proceso de torula sin la existencia del calentamiento del aire de dilución.

Capítulo # 3 Integración de Procesos en la planta de Levadura Torula.

Escenario # 2: Análisis económico de parámetros relevantes en el proceso de torula con la existencia del calentamiento del aire de dilución hasta la temperatura de 102 °C, mediante la integración de los fluidos calientes y fríos.

Los parámetros evaluados son:

- Consumo de combustible en el proceso (C).
- Consumo de agua de enfriamiento en los intercambiadores de placas para enfriar la vinaza (H<sub>2</sub>O).
- Consumo de electricidad en la torre de enfriamiento del agua (E).

Para los escenarios evaluados estos parámetros se comportan de manera diferente debido a las consideraciones de cada uno por ejemplo al incluir la integración de procesos no sería necesario el enfriamiento de todo el flujo de vinaza en los intercambiadores de placas instalados en el proceso lo que implica una reducción del consumo de agua fría y por lo tanto una reducción del gasto de electricidad en la torre de enfriamiento, esto sucede igualmente en el caso de la instalación del intercambiador de calor diseñado.

**Tabla 3.6:** Resultados de la evaluación económica para los dos escenarios.

<b>Escenario # 1</b>			
Parámetros	Cantidad (U/año)	Precio (\$/U)	Costo (\$/año)
C (GJ)	173000	3,30	570900
H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> )	1994400	0,50	997200
E (kWh)	720000	0,110	79200
Costo total			1647300
<b>Escenario # 2</b>			
Parámetros	Cantidad (U/año)	Precio (\$/U)	Costo (\$/año)
C (GJ)	145000	3,30	478500
H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> )	1599120	0,50	799560
E (kWh)	577440	0,110	63518,4
Costo total			1341578,4

Se puede apreciar en los resultados obtenidos de los escenarios que cuando ocurre el calentamiento del aire de dilución hasta la temperatura de 102 °C, mediante la integración de los fluidos calientes y fríos el costo es menor.

**3.6. Conclusiones Parciales.**

1. Con la energía térmica presente en las vinazas el aire de dilución puede ser calentado hasta 70 °C, siendo un valor de temperatura no tan elevado, no obstante este calentamiento también incide en una reducción del consumo de combustible, ahorrándose 60 kg/h del mismo en el proceso.
2. En la evaluación de la inversión del intercambiador de calor diseñado los indicadores dinámicos se comportan de manera favorable, o sea el montaje de equipo es conveniente ya que debido a los ahorros de combustible que este incorpora al proceso los gastos realizados se recuperan en medio año.
3. A partir de los parámetros evaluados para los escenarios propuestos se obtienen mayores beneficios en el caso de la integración energética con calentamiento del aire de dilución hasta la temperatura de 102 °C, mediante la integración de los fluidos calientes y fríos.
4. Se demuestra la factibilidad del proceso inversionista para el montaje del intercambiador de calor.

## **Conclusiones**

1. Existe un desbalance energético en la industria ya que los consumos de vapor de los equipos están muy por encima de lo reportado en la literatura.
2. Al estimar la incertidumbre por el método de Monte Carlo, se demostró que las variables con una mayor influencia en las respuestas son el flujo de miel, flujo de crema que entra al pre evaporador, temperatura de entrada y de salida del calentador.
3. Se evidencia la importancia del control sobre las áreas Fermentación, Bombas y Secado, en la gestión energética ya que estas áreas son las mayores consumidoras de energía.
4. Los bajos niveles de producción logrados en el período, motivados por el mal estado técnico de varios equipos, inciden directamente en la economía energética de la UEB.
5. Al aplicar la integración energética en el proceso de obtención de torula es posible alcanzar elevados valores de temperatura del aire de dilución (102 °C), suministrado a la cámara de secado, lo cual implica un considerable ahorro de combustible y ratifica la factibilidad del uso de esta variante
6. Al incluir los beneficios de la integración energética y del sistema de calentamiento del aire en la evaluación económica, se produjeron reducciones en los costos de los diferentes parámetros analizados.
7. El sistema diseñado de calentamiento del aire de dilución a partir de la energía presente en las vinazas implica la instalación de un radiador (intercambiador de calor de flujos cruzados) en el flujo tecnológico, lo cual incorpora al proceso mejoras en la eficiencia, disminuyendo el consumo de combustible y de agua de enfriamiento.
8. A partir del análisis económico desarrollado para el montaje del intercambiador de calor diseñado se demostró la factibilidad económica de la inversión.
9. El cronograma inversionista demuestra que es posible realizar las mejoras con un mínimo de afectación a la producción.

**Recomendaciones**

1. Realizar los trabajos necesarios que permitan poner en práctica el reuso de los fluidos que presentan una energía térmica considerable, desarrollando una de las alternativas analizadas, según el interés de la dirección de la empresa.
2. Tomar en cuenta los resultados tanto de la integración, como del sistema de calentamiento diseñado para lograr una mayor eficiencia en el proceso.
3. Con el fin de desarrollar y mejorar cualquier variante estudiada, sería conveniente colocar aislamiento térmico en la tubería de suministro de vinaza de la destilería al proceso.
4. Realizar futuros trabajos donde se realice la creación de una red de intercambiadores en la cual estén presentes todos los fluidos calientes y fríos del flujo tecnológico.

**Bibliografía:**

1. Asías Campo Evelio, “Especificaciones de procesos”, 1998.
2. BANERJEE, I. A. I. G. (2002) Design optimization under parameter uncertainty for general black-box models.
3. Barderas, A. V. (2011) Cambiadores de calor de flujo cruzado.
4. BERNARDO, F. Y. C. (2001) Quality costs and robustness criteria in chemical process and design optimization. 25, 27-40.
5. Borroto A. E et al. (2001). Gestión Energética Empresarial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Disponible en formato PDF.
6. Cabrera Sánchez Jorge L.” Análisis Termodinámico y de alternativas para la reducción del consumo de combustible en el proceso de secado de la levadura torula en el CAI Antonio Sánchez”. Tesis de Maestría 1998.
7. Campos, J. C. ; E. L., Figueroa y Lourdes Meriño. (2003). La Gerencia de la Energía en las Empresas. Disponible en: Atenas.
8. Castejón F. (2005). La entrada en vigor del Protocolo de Kioto. Pensamiento crítico. Disponible en: Pensamiento crítico
9. CATÁ, Y. (2004b) Alternativa de integración material y energética considerando la incertidumbre en una fábrica de azúcar y otras plantas de derivados.
10. CATÁ, Y. (2006) Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria azucarera y sus derivados. Tesis para optar el grado científico de doctor en ciencias técnicas.
11. CATÁ, Y. Y. C. (2004d) Sistema de procedimiento en la consideración de la Incertidumbre en el desarrollo de tecnologías limpias que emplean la biomasa de la caña de azúcar como materia prima.
12. CATÁ, Y. Y. C. (2004d) Sistema de procedimiento en la consideración de la Incertidumbre en el desarrollo de tecnologías limpias que emplean la biomasa de la caña de azúcar como materia prima.
13. CENAN, (México 2000). Guía para estimar la incertidumbre de la medición. Centro nacional de metrología.
14. CRIPPS, H. (2000) Process integration in the pulp and industry.
15. DUNN, R. (2000) Using process integration technology for cleaner production.
16. ESPINOSA, R. Y. C. (2001b) La tecnología Pinch en el marco de la Industria Química.

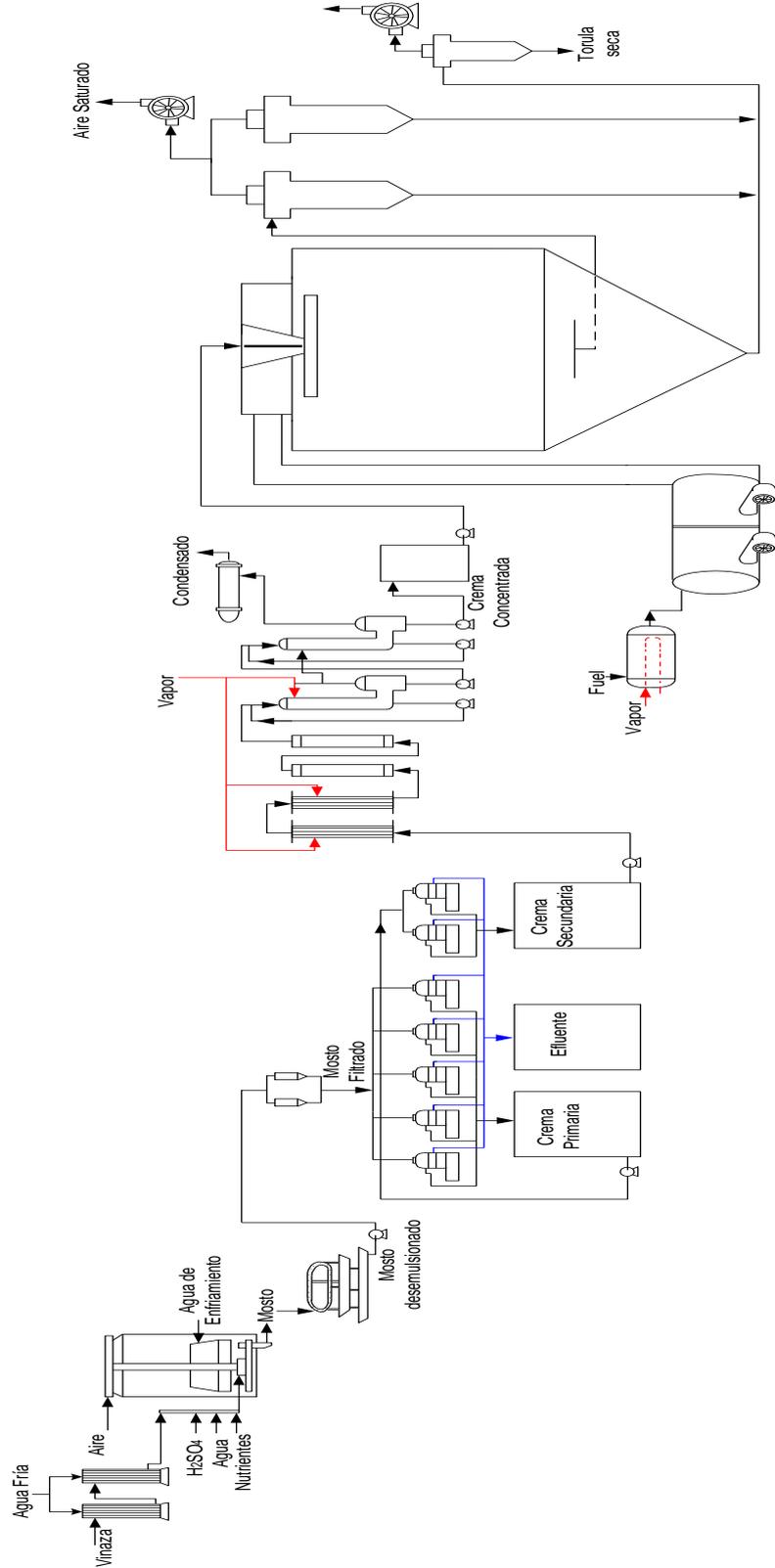
17. ESPINOSA, R. Y. C. (2001b) La tecnología Pinch en el marco de la Industria Química.
18. FUENTES, G. (2000) Alternativas de producción de etanol y torula utilizando sustratos azucarados.
19. Fundora, L. J. (2006). La educación energética en Cuba. Realidades y perspectivas. Disponible en: <http://ticat.ua.es/educacio-energetica>
20. GALLARDO, I. (1990) Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD). Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
21. GONZÁLEZ, E. (1987) Escalado y diseño en la Industria Química en condiciones de Incertidumbre.
22. GONZÁLEZ, E. (1995) Escalado y diseño en la Industria Química en condiciones de Incertidumbre
23. GONZÁLEZ, E. (2001) El análisis complejo de procesos en la industria química .Folleto para la Maestría de Análisis de Procesos en la industria química.
24. GONZÁLEZ, E. Y. C. (2005) Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos.
25. GONZÁLEZ, F. (2002) Control operacional de algunos factores agroindustriales que afectan en ingenios azucareros. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba.
26. GONZÁLEZ, M. (2004b) Impacto Global de una tecnología más limpia en la fabricación de papel ondular. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
27. González, P. F. et al. (2006). Energía y Desarrollo Sostenible.\_ La Habana: Editora Política. . 210 pp.
28. HOPEWELL (1997) Decision Making under conditions of uncertainty.
29. <http://es.scribd.com/doc/54730486/Articulo-indicadores-eficiencia-energetica>
30. [http://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia\\_energ%C3%A9tica#Ahorro\\_de\\_energ%C3%ADa\\_en\\_la\\_industria](http://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia_energ%C3%A9tica#Ahorro_de_energ%C3%ADa_en_la_industria).
31. <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-la-energia>
32. [http://www.aenor.com/aenor/certificacion/mambiente/mab\\_gestion\\_energetica.asp#.UZy9ZGeDFxA](http://www.aenor.com/aenor/certificacion/mambiente/mab_gestion_energetica.asp#.UZy9ZGeDFxA)
33. [http://www.balantia.com/servicios/gestion\\_energetica\\_sistema\\_ISO.html](http://www.balantia.com/servicios/gestion_energetica_sistema_ISO.html)
34. [http://www.ecured.cu/index.php/Eficiencia\\_Energ%C3%A9tica](http://www.ecured.cu/index.php/Eficiencia_Energ%C3%A9tica)
35. [http://www.ingein-energia.cl/?page\\_id=243](http://www.ingein-energia.cl/?page_id=243)

36. HURME, M. (1999) Conceptual Desing of Clean Processes: Tools and Methodos.
37. Kapitsa, P. (1985). Experimentos, teoría y practica.\_ Moscú Editorial Mir. 240 pp
38. Kern, D. Q. (2005) Procesos de transferencia de Calor.
39. Lapido, R. Margarita ; J. P. Monteagudo y A. E. Borroto Nordelo (2004). La gestión energética y la competitividad empresarial Disponible en : Cubasolar.
40. Lazcano P.”Las vinazas de las destilerías”.2006.
41. LINNHOFF, B. (1984) User guide on process integration for efficient use for energy.
42. LÓPEZ, B. (1995) Alternativa para la obtención de productos de alto valor agregado a partir de bioetanol mediante técnicas de destilación, Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas..
43. 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 inversionistas. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas
44. OQUENDO, F. Y. C. (2000) Proyecto de Diversificación del CAI Sierra de Cubitas.
45. PERALTA, L. (1992) Modelación, Optimización y Control de Procesos de Lixiviación de minerales de Níquel en la Empresa “Cdte Pedro Soto Alba” de Moa. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba.
46. Peters, M. S. (2003) Plant Design and Economics for Chemical Engineers
47. POUTLERS, S. (2000) Monte Carlo Simulation in Evironmental risk assessment-science.
48. Pulov.” Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología Química. Segunda parte.
49. PUTLER, S. (2000) Monte Carlo Simulation in Enviromental Risk Assessment-Science.
50. Ramos Lorenzo Raúl.” Análisis de Rentabilidad de las diferentes producciones en al planta de Torula del CAI Simón Bolívar”, Trabajo diploma.1998.
51. RIVIERA, E. Y. C. (2000) Determinación de un coeficiente con comportamiento de segundo orden y su incertidumbre.
52. ROSA, E. (1996) Análisis de alternativas de inversión en la Industria química considerando la fiabilidad de los equipos. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba.
53. RUDD, C. A. W., C (1980) Strategy of process Engineering.
54. RUDD, C. A. W., C (1980) Strategy of process Engineering.

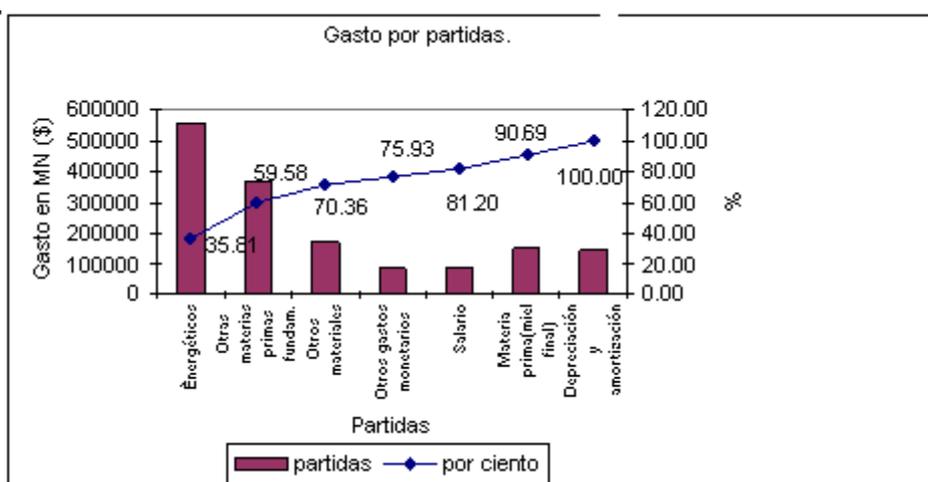
55. Santos Herrero Ronaldo. “Estrategia de Análisis de alternativas para la reactivación de las instalaciones actuales de levadura Torula”. Tesis de doctorado 1999.
56. SANTOS, R. (1999) Estrategia para el análisis de alternativas de reactivación de las plantas de torula. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas.
57. SANTOS, R. (2001) Estrategia para el análisis de alternativas de reactivación de las instalaciones actuales de levadura torula. Revista Centro Azúcar, 4, 45-52.
58. SCENNA, N. (1999) Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos.
59. SCHMID , W. Y. C. (2000) Guía para estimar la incertidumbre de las mediciones. México.
60. Sifredo J. Sáez Ruíz, (Febrero 2001). Incertidumbre de la medición: Teoría y práctica.
61. Tablada, C. y Gladys Hernández.(2003). Petróleo, poder y civilizacion.\_ La Habana: Editorial Ciencias Sociales.155 pp.
62. VIERA, R. (1988) Modelación Matemática para Ingenieros Químicos.
63. VILLANUEVA, G. (1991) Intensificación del proceso de obtención del Sulfato de Nicotina hasta escala industrial. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
64. Wilhite, H., E. Shove, L. Lutzenhiser, W. Kempton: “After twenty years of “demand side management”, 2003.
65. ZHENG, J. Y. F. (2000) Quantitative analisis of variability and uncertainty in emission estimation.

Anexos

Anexos #1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de torula.



## Anexo # 2 Gastos vs Consumo energético



## Anexo # 3 Fichas de costos de la empresa de torula UEB derivados Antonio Sánchez.

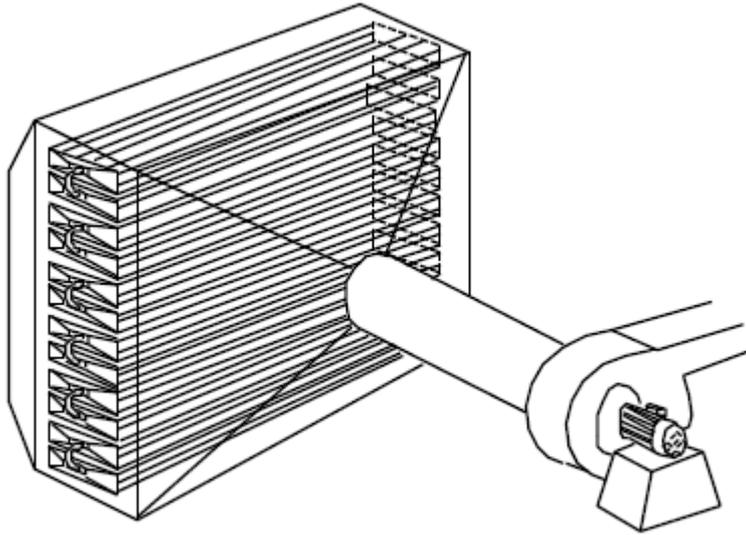
	UM: TM				UF:	
		CANTIDAD	NUEVO		COSTO	
PRODUCTO	UM	AJUSTADA	TOTAL	DIVISA	TOTAL	DIVISA
<b>COMBUSTIBLE</b>						
FUEL OIL	lts	662,00000	0,52	0,5168	342,12	342,12
<b>ENERGIA</b>						
ENERGIA ELECTRICA	KW	1300,00000	0,14	0,1108	181,22	144,04
<b>MATERIA PRIMA Y MATERIALES</b>					743,80	648,18
MIEL FINAL PROPIA	TM	0,50000	60,00	0	30,00	0,00
SULFATO DE AMONIO *	TM	0,38000	871,51	804,8877	331,17	305,86
FOSFATO DIAMONICO	TM	0,13000	2410,35	2228,3439	313,35	289,68
MASTER M (ANTIESPUMANTE)	TM	0,01500	2571,35	1934,8913	38,57	29,02
ACIDO SULFURICO*	TM	0,07000	187,70	168,13	13,14	11,77
MOSTOS	TM	70,00000	0,02	0,007	1,26	0,49
ACIDO NITRICO *	TM	0,00500	426,55	304,57	2,13	1,52
SOSA CAUSTICA	TM	0,01000	325,49	269,2774	3,25	2,69
SACOS DE PAPEL	MU	0,04200	260,00	170,00	10,92	7,14
<b>TOTAL MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES</b>					<b>1267,14</b>	<b>1782,52</b>

## Anexo # 4: Leyenda de la tabla 3.1 del Capítulo 3.

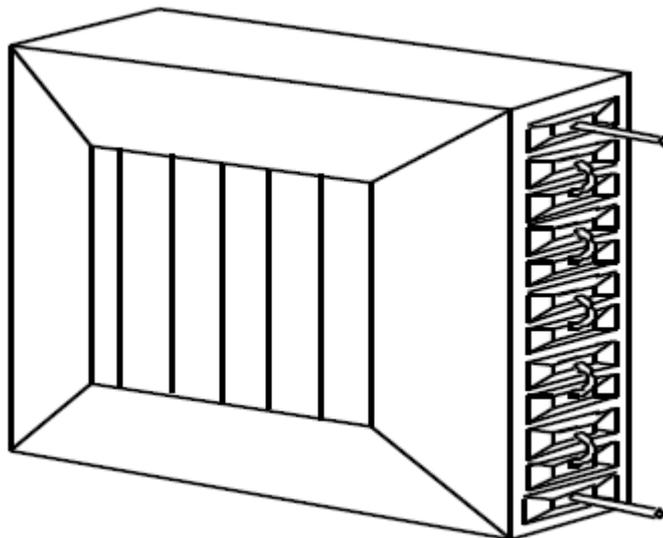
*	P es un coeficiente de efectividad que puede variar desde cero hasta uno. (Barderas, 2011)
**	Z es la relación de capacidad térmica. Cuando se obtiene un valor menor que 0.75 no es factible, desde el punto de vista económico, usar este tipo de intercambiador, ya que no seguiría exactamente las suposiciones hechas en la construcción de las gráficas para la selección de Ft. (Barderas, 2011)
***	Este valor de Ft se obtiene de gráficas en función de P y Z encontradas en (Barderas, 2011) donde es necesario tener en cuenta en cual espacio del equipo existirá mezcla o no del fluido para este caso se consideró mezclado en el espacio intertubular y que no existe mezclado en los tubos.
*'	Este valor se obtuvo de la tabla 10 del Kern y es el área de un tubo por pie.
**'	Para el arreglo se consideran los tubos dispuestos en 50 filas y 50 columnas. Cada pase tendrá 4 filas y 50 columnas todo con el objetivo de distribuir aproximadamente igual los 2500 tubos en el equipo.
***'	Este parámetro se obtuvo de la fig.15 del Kern (viscosidades de gases).
**"	Al ambos fluidos presentar viscosidades menores que $10^{-3}$ Pa*s se trabaja con temperaturas medias.
***"	Este parámetro cuando el fluido se está enfriando es 0.93 y cuando se está calentando es igual a 1.
****"	Este factor se obtiene de la fig.24 del Kern.
*^	Noe es el número de espacios entre los tubos.
**^	Esta ecuación para la determinación del coeficiente pelicular para aire por bancos de tubo en arreglo triangular fue seleccionada del Barderas, 2011.

**Anexo # 5: Vistas aproximadas del intercambiador diseñado.**

**Vista Trasera:**



**Vista Frontal:**



Anexo # 6: Diagrama de flujo modificado

