

APLICACIÓN DE MODELOS FENOMENOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN DE TACHOS PARA LA OBTENCIÓN DE MASA COCIDA A EN EL CAI “G.WASHINGTON.”

O’Farrill Maria E. ofarrill@uclv.edu.cu, Peralta Luis M. lperalta@uclv.edu.cu
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Química Farmacia.
Carretera a Camajuaní, Km. 5.5. Santa Clara. Villa Clara

Resumen

El presente trabajo se realizó en el CAI “George Washington”, teniendo como objetivo establecer el modelo matemático de la Etapa de cocción de la masa cocida A en condiciones industriales, con la finalidad de realizar un análisis operacional de esta, partiendo de las mediciones de las principales variables operacionales.

En este se expone la adaptación y desarrollo del modelo matemático fenomenológico que caracteriza dicho proceso, así como el ajuste del mismo con los datos experimentales industriales obtenidos. También se realizó un análisis estadístico de este proceso para corroborar la existencia o no de diferencias significativas entre los resultados experimentales y los resultados brindados por el modelo una vez ajustado, donde se obtuvieron resultados satisfactorios; además el análisis estadístico de frecuencia de toda la data experimental obtenida durante el tiempo de estudio de la etapa de cocción de masas cocidas de primera, permitió establecer 12 variantes diferentes de condiciones de alimentación de la materia prima (meladura y semilla B) al tacho de primera, los cuales fueron simulados con el modelo matemático fenomenológico obtenido, lográndose el comportamiento de las variables que caracterizan al proceso de cristalización a vacío tales como, (coeficiente de variación, diámetro medio del cristal, contenido de cristales, eficiencia, etc), así como un análisis económico de cada una.

Se puede concluir que estos modelos son válidos para el rango de experimentación estudiado y que representan adecuadamente el comportamiento de dicha etapa. Además

Desarrollo

resultan adecuados para la simulación de este proceso.

Introducción

Es importante que los azucareros tengan conciencia fuerte sobre el panorama actual del Mercado Mundial en el cual el azúcar muestra tendencia a perder cada vez más su valor de cambio como producto de comercialización internacional, lo que hace suponer que la industria azucarera se encuentra en una fase de estancamiento en su desarrollo, y que por tanto dejará de tener la importancia económica que posee para nuestro país; esto crea la responsabilidad de profundizar los conocimientos y que todas las tecnologías tengan como premisa la optimización de los costos y análisis económicos.

Varios de los problemas estudiados requieren ser expresados matemáticamente para lograr exactitud en las respuestas que se obtengan, para lo cual resulta imprescindible acudir a los modelos matemáticos, con los cuales puede simularse complejos sistemas con la ayuda de las maquinas computadoras y procesar una enorme cantidad de datos en un tiempo récord.

Este trabajo está dirigido a:

- Establecer los modelos matemáticos de la Etapa de cristalización a vacío en el CAI “George Washington”, lo que permitirá un análisis operacional de dichos procesos, a partir de mediciones rápidas de las variables operacionales. Con los resultados que se obtengan de dichos modelos se podrán tomar las decisiones operacionales que coadyuven al incremento de la eficiencia del proceso, influyendo directamente en la calidad del azúcar de forma favorable.

En la realización de este trabajo, se utilizó en condiciones industriales el modelo matemático fenomenológico desarrollado por los Ing. Serguei Varela¹ y la Ing. Janet Cedeño² para la masa cocida A y B en condiciones de Planta Piloto.

El modelo matemático del tipo fenomenológico utilizado, fue el resultado del estudio sistemático realizado por los autores mencionados anteriormente sobre el proceso de cristalización en un tacho al vacío y el mismo puede ser utilizado para predecir el comportamiento del proceso de cristalización, al mismo se le incorporaron las expresiones correspondientes para completar toda la información necesaria que debe brindar el modelo matemático fenomenológico que describe el proceso de cristalización a vacío.

Para formular el modelo matemático que representa el comportamiento de un tacho al vacío durante el proceso de cristalización se hace necesario desarrollar las relaciones básicas que rigen el mismo las cuales se agrupan en:

- Balance de materia.
- Balance de energía y relaciones de transferencia de calor.
- Relaciones de equilibrio.
- Expresiones para la distribución de tamaño de los cristales.
- Relaciones de crecimiento de los cristales.

En el modelo desarrollado se tuvieron en cuenta las consideraciones siguientes:

- Se asume que la temperatura es función de la transferencia de calor, de circulación y de la presión absoluta.
- Se predice que la distribución de tamaño de los cristales está dada por los cambios de los momentos.
- Se asume la posible ocurrencia de nucleación.
- Se asume un modelo de parámetro concentrado, no hay gradiente de temperatura y concentración dentro del tacho.
- No se considera ni entrada ni salida de agua, ni extracción de la masa cocida durante el tiempo de cocción de la templa.

Resultados y Discusión

El modelo matemático definido anteriormente, fue ajustado utilizando para ello once corridas experimentales, obtenidas en la industria, en las cuales se midieron los parámetros operacionales y se realizaron análisis de laboratorios para medir la distribución de tamaño de los cristales durante la cristalización. El programa de simulación PSI permitió el ajuste óptimo de los parámetros cinéticos de la cristalización y de la transferencia de calor resolviendo un problema de optimización no lineal de parámetros múltiples con una función multiobjetivo. En la tabla a continuación se muestra la comparación de los resultados del modelo en comparación con los datos experimentales, para algunas variables fundamentales del proceso.

Tabla 1: Comparación de los datos experimentales con los datos brindados por el modelo luego de ser ajustado.

	Bxm (%)	V ₃ (pie ³)	Dc (mm)	T ⁰ (°C)	Pm (%)	CV (%)
Experimental	92.7	1445.45	0.945	71.51	87.31	21.5
Modelo	92.5	1445.44	0.940	71.37	88.59	22.1

Donde:

Bxm: Brix de la Masa Cocida A

V: volumen de la masa cocida en el tacho.

Dc: longitud media del cristal.

T: Temperatura de la masa cocida

Pm: Pureza de la masa Cocida

Cv: Coeficiente de Variación del tamaño del cristal

Como puede observarse las diferencias entre los datos experimentales y los datos que brinda el modelo matemático son mínimas, para corroborar esto se realizó una prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney U (M-W) consistente en la comparación de dos poblaciones, constituidas por los datos experimentales y por los datos obtenidos a partir del modelo, en ambas poblaciones se comparan los siguientes datos:

-Brix y Pol de la Meladura. - Coeficiente de variación.

-Brix y Pol de masa cocida A. - Diámetro medio del cristal.

-Brix y Pol de Semilla. - Temperatura de la masa cocida.

Se establecieron las siguientes hipótesis para la comparación:

Ho: existe igualdad dentro de las poblaciones (no hay diferencias significativas entre las poblaciones)

H1: no existe igualdad entre las poblaciones (hay diferencias significativas entre las poblaciones).

Aquí se calculó el coeficiente de significación sigma. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, verificándose la hipótesis Ho: no existe diferencia significativa entre los datos experimentales y los obtenidos a partir del modelo matemático.

Una vez verificado el ajuste del modelo, se hizo un análisis operacional de la etapa de cristalización a vacío a partir de un estudio estadístico de frecuencia de los datos que describen las condiciones de alimentación al tacho, con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables de salida en la estación de cocción de tachos. Posteriormente se hace un análisis económico haciendo uso del modelo matemático fenomenológico para esta etapa.

El estudio de los histogramas de frecuencia de los datos de alimentación al tacho permitieron conformar 12 variantes de condiciones de alimentación al tacho: 8 variantes son la combinación de los datos más frecuentes de brix y pol en la meladura y en la semilla y 4 variantes son la combinación de los datos con valores mínimos y máximos de brix y pol en la meladura y en la semilla.

Una vez conformado las 12 variantes, se procedió a simular las mismas empleando el modelo matemático definido, al cual le fue adicionada la metodología de evaluación de agotamiento de tachos y las ecuaciones que permiten hacer una valoración económica de cada variante.

Los resultados de las variables finales que determina la calidad de la etapa de cristalización a vacío para cada variante aparecen en las tabla # 2, #3 y #4, que se muestra a continuación.

Tabla 2: Resultados de la simulación con el modelo matemático fenomenológico: Variables: Eficiencia del Tacho, Diámetro medio del cristal y Coeficiente de variación.

Vte	Ef	Ma	Cv
1	94.5	0.93	17.3
2	90.8	0.956	17.0
3	91.0	0.964	16.8
4	91.1	0.965	16.8
5	94.2	0.939	17.3
6	90.8	0.957	16.9
7	91.2	0.966	16.8
8	91.3	0.967	16.8
b1	91.6	0.897	24.6
b2	91.4	0.936	17.3
m1	95.1	0.945	24.9
m2	96.4	0.919	28.3
Prom	91.4	0.940	21.5

Donde:

Ef: Eficiencia en los tachos.

Ma: Diámetro medio del cristal.

Cv: Coeficiente de variación de la distribución del cristal.

Tabla 3: Resultados de la simulación con el modelo matemático fenomenológico. Variables: Volumen de la masa cocida, Porcentaje de sacarosa en la masa cocida, Porcentaje de sólidos solubles en la masa cocida y Pureza de la masa cocida.

Vte	Volmc	Polm	Bxm	Pza
1	1447.3	75.0	93.5	0.80
2	1456.8	79.6	92.9	0.85
3	1462.6	81.8	92.6	0.88
4	1463.1	82.0	92.6	0.88
5	1451.0	75.3	93.4	0.80
6	1460.7	79.8	92.9	0.85
7	1466.6	82.0	92.6	0.88
8	1467.2	82.2	92.6	0.88
b1	1315.1	81.8	92.2	0.88
b2	1349.7	81.2	92.3	0.87
m1	1527.1	85.4	92.2	0.92
m2	1493.3	85.9	92.1	0.93
Prom	1445.4	82.0	92.5	0.88

Donde:

Volmc: Volumen de la masa cocida.

Polm: Porcentaje de sacarosa en la masa cocida.
 Bxm: Porcentaje de sólidos solubles en la masa cocida.
 Pza: Pureza de la masa cocida.

Tabla 4: Resultados de la simulación con el modelo matemático fenomenológico. Variables: Ganancia anual de la producción de esta etapa, Producción anual de esta etapa e Incremento de la producción.

Vte	G.anual (\$/a)	Prod (Ton/a)	Incre. (\$/a)
1	7.29E6	42630.8	-
2	8.49E6	45700.3	-
3	8.77E6	47207.7	98638.5
4	8.79E6	47334.8	122266.4
5	7.97E6	42925.7	-
6	8.54E6	45990.2	-
7	8.82E6	47493	151675.8
8	8.85E6	47619.9	175266.5
b1	7.72E6	41531.1	-
b2	7.86E6	42323.9	-
m1	9.62E6	51789.5	950395.1
m2	9.46E6	50934.9	791525.0
Prom	8.67E6	46677.1	-

Donde:

G.anual: Ganancia anual de la producción de esta etapa.

Prod: Producción anual de esta etapa.

Incre: Es el incremento de la producción.

Conclusiones

1. El proceso de cristalización a vacío para la obtención de masa cocida A en condiciones industriales se describió adecuadamente, a través de un modelo fenomenológico de carácter dinámico, haciendo uso del mismo se pudo correlacionar las variables operacionales y ajustar los valores de los parámetros físico - químicos que afectan el proceso, mediante el mismo se aprecian los cambios de las variables principales del proceso ante el efecto de los cambios que pueden ocurrir en las magnitudes principales a la entrada del mismo.
2. El modelo matemático fenomenológico que se desarrolló para masa cocida A, a escala industrial resultó adecuado pues refleja los perfiles de las variables que caracterizan un tacho y que determinan la calidad del

azúcar como son: coeficiente de variación de distribución, diámetro medio del cristal, la temperatura de la masa cocida, la eficiencia, la pureza de la masa cocida, la masa de cristal en el tacho y otras que permiten estudiar detalladamente la operación en cualquier momento.

3. Se observa una buena correspondencia entre los valores experimentales y los obtenidos por el modelo, así como la una sensibilidad adecuada del modelo a los cambios realizados en las variables investigadas, por lo que puede establecerse que el modelo representa adecuadamente al proceso bajo estudio.
4. La simulación brindó resultados satisfactorios al compararlos con los datos que reportan las normas técnicas establecidas para masa cocida A.
5. Los resultados que se obtuvieron del programa estadístico SPSS fueron satisfactorios ya que no existen diferencias significativas entre los datos obtenidos experimentalmente y los que arroja el modelo matemático fenomenológico.
6. A través del estudio realizado a partir de la simulación dinámica del proceso sobre diferentes alternativas de condiciones de alimentación al tacho, se obtuvieron 6 variantes (3, 4, 7, 8, m1 y m2), cuya aplicación arroja incrementos en la producción de azúcar y con ello incrementos en la producción de azúcar en las ganancias anuales (98638.5 \$/a, 122266.4 \$/a, 151675.8 \$/a, 175266.5 \$/a, 950395.1 \$/a, 791525.0 \$/a, respectivamente).
7. De las variantes que arrojan incrementos en la producción de azúcar, 4 de ellas se corresponden con las condiciones de alimentación al tacho más frecuentes en que opera el central, (variantes 3, 4, 7 y 8), lo cual puede constituir una guía para lograr en un primer momento un control manual acertado y en un futuro la base para la implementación de un sistema de control optimizante de la operación de cristalización en tachos para la obtención de masa cocida A.

Referencias

1. Varela S., "Modelación y simulación de la estación de tachos en la Planta Piloto: José Martí", Revista Centro Azúcar No. 4, 2003,
2. Cedeño J., "Modelación y simulación de la estación de tachos para la obtención de

Masa Cocida B en la Planta Piloto:”José Martí.”, Trabajo de Diploma, Universidad Central Las Villas, Cuba, 2002.

Biografía de la autora principal

Maria E. O’Farrill Pie: Doctora en Ciencias Técnicas. Graduada de ingeniera química en el año 1993, en la Universidad Central de Las Villas (UCLV), Cuba. Profesora auxiliar del departamento docente de Ingeniería Química, de la facultad de Química-Farmacia de la UCLV. Las principales líneas investigativas en las que desarrolla su perfil están relacionadas con el control, simulación y automatización de procesos de la industria azucarera y sus derivados. Ha publicado 13 artículos científicos en revistas y memorias de eventos y simposios internacionales.