

MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN MIELES FINALES Y MASAS COCIDAS C

Guido Riera González, Ofelia Méndez Bustabad
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría

Una de las pérdidas de sacarosa en la Industria Azucarera es en las mieles finales, esta se encuentran estrechamente ligada al agotamiento que se logre en la etapa de cristalización por enfriamiento de las masas cocidas "C". Entre los factores que afectan esta operación se encuentra la viscosidad por lo que llegar a conocer su valor para poder actuar sobre ella e influir en el proceso reviste gran importancia.

En este trabajo se presenta un modelo matemático para determinar la viscosidad de las mieles y otro para la de las masas cocidas, el de las mieles está en función del brix y la temperatura y el de las masas cocidas además de las anteriores el rendimiento en cristales

Los modelos fueron obtenidos empleando el Programa profesional STATGRAPHICS.

Para las mieles el modelo fue obtenido para un rango de brix entre 73 y 91 % de sólidos, y temperaturas entre 40 y 70 °C. En masas cocidas se estudiaron concentraciones entre 80 y 100 % de sólidos solubles totales, para una temperatura entre 30 y 70 °C y rendimiento en cristales entre 20 y 40 %. El valor de coeficiente de correlación múltiple en ambos casos fue superior a 98 y en todos los casos el error estándar de estimación presenta la primera cifra significativa en la centésima. En el análisis de los residuos se observó siempre una distribución uniforme.

La validación de estos modelos se hizo a través de pruebas de hipótesis, empleando información obtenida en trabajos sobre reología de mieles y masas cocidas realizados con anterioridad. Estos modelos se introdujeron en una hoja EXCEL con el propósito de brindar facilidades a los usuarios.

Palabras clave: viscosidad, miel final, masa cocida, modelos matemáticos.

One of the sucrose losses in the sugar industry is in the final molasses, this they are closely bound to the exhaustion that is achieved in the crystallization stage by cooling of the masscuite "C". Among the factors that affect this operation is the viscosity for what to end up knowing their value to be able to act on her and to influence in the process had great importance.

In this work a mathematical model is presented to determine the viscosity of the honeys and another for that of the cooked masses, that of the honeys is in function of the brix and the temperature and that of the masses cooked besides the previous ones the yield in crystals. The models were obtained using the professional Program STATGRAPHICS. These Models were introduced in a leaf EXCEL with the purpose to offer facilities to the users.

Key words: viscosity, molasses, masses cutie, mathematical models.

Introducción

Debido a que la cristalización por enfriamiento es una de las operaciones más importantes del proceso de producción azucarero, se han dedicado muchos esfuerzos al estudio del agotamiento de las mieles, sin que puedan extraerse conclusiones definitivas. En esto influyen grandemente diversos factores como la calidad de la materia prima, condiciones de operación, tipos de suelos y otros.

Muchos investigadores se han esforzado en dar respuesta a estas interrogantes tratando de

explicar por diversas teorías, los factores que inciden en el agotamiento de las mieles finales. La mayoría de ellos coinciden en que la velocidad de cristalización de la sacarosa en el proceso tecnológico se encuentra determinada por los siguientes factores:

- Grado de sobresaturación
- Temperatura
- Viscosidad
- Agitación
- Velocidad de enfriamiento
- Naturaleza y grado de concentración de las impurezas

Entre estos factores se destaca la viscosidad como uno de los principales que afecta el agotamiento de las mieles (Saily). Payne (1978), plantea que el factor predominante en la teoría de la cristalización, es la viscosidad, que establece las condiciones límites en que puede tener lugar este proceso, por lo que concluye que debe ajustarse los valores de los contenidos de sólidos y la temperatura, a fin de obtener la viscosidad mínima posible.

En los últimos años las pérdidas de sacarosa en mieles finales, han aumentado grandemente buscándole soluciones tales como: la reducción del contenido de almidón en los jugos con el empleo de alfa amilasa, y el incremento de la cantidad de cristalizadores de agotamiento, sin que se halla logrado los resultados esperados.

Lodos, (1998) establece la influencia decisiva que tienen en esta operación los altos brix, el contenido en cristales y la viscosidad, y concluye que solo el cambio de la naturaleza físico química de las mieles podrá mejorar su agotamiento.

Saily (2000), en su tesis de grado realiza un estudio del comportamiento reológico de las mieles y las masas cocidas y demuestra la dependencia de la viscosidad de las mieles de la temperatura, las impurezas y el brix. Para el caso de las masas cocidas de la temperatura el brix y el contenido en cristales.

En resumen, la viscosidad es una propiedad especialmente importante en la etapa final de la fabricación de azúcar, el manejo de materiales de alta viscosidad resulta complejo, los gastos en consumo de potencia para su movimientos son altos, además la difusión de la sacarosa es lenta lo

que provoca altos tiempos de cocción con sus respectivas consecuencias.

Debido a la problemática planteada con anterioridad, conciente de la necesidad que existe de conocer de forma rápida y confiable la viscosidad de la miel final y de las masas de tercera y aprovechando las ventajas y facilidades que brinda el uso de la modelación matemática y la computadora, nos proponemos obtener modelos matemáticos con alta precisión para la determinación de la viscosidad de la miel final y las masas cocidas de tercera.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolla a partir de la información reportada por Zumalacárregui (1997), Saily (2000) y del trabajo desarrollado por Méndez (1994), Riera (2000). En este último trabajo se obtuvieron modelos matemáticos para la obtención de la viscosidad efectiva en pulpas de frutas y de mieles finales.

Esta información presenta el brix, la temperatura y la viscosidad aparente para el caso de las mieles y para el de las masas cocidas además de las ya señaladas el rendimiento en cristales.

La información fue organizada como se muestra en la tabla 1 para las mieles y en la tabla 2 para las masas cocidas, en forma de ejemplo, para ser procesada estadísticamente mediante el programa profesional STATGRAPHICS.

La validación de los modelos también se hizo con este programa, mediante pruebas de hipótesis entre los valores medios de datos experimentales obtenidos en el laboratorio y los resultados que brindaron los modelos determinados.

Tabla 1
Ejemplo. Algunos datos experimentales
para el procesamiento estadístico. Miel

Temperatura (°C)	Brix (%)	Viscosidad (Pa-s)
40	73	0,6
42	75	2,3
50	80	2,8
63	82	2,8
65	85	2,8
70	90	2,4

Tabla 2
Correlación para las mieles finales

Temperatura (°C)	Brix (%)	Rend. cristal (%)	Viscosidad efectiva (Pa-s)
30	80	20	9,5
35	85	25	4,3
40	88	30	3,2
45	90	35	5,6
50	95	40	10,4
60	98	40	4,3

Análisis de los resultados

El procesamiento estadístico de la información nos permitió obtener modelos matemáticos para masas cocidas "C" y mieles finales. En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de las pruebas de significación de los parámetros (*test de Student*) y de ajuste de los modelos (*test de Fisher*) realizada para un nivel de significación de 95 %.

En la tabla 3 se recogen los resultados relacionados con la miel final empleándose 71 datos.

Como se puede observar en todos los casos las variables independientes estudiadas se relacionan con la viscosidad con un alto nivel de significación destacándose los altos valores del estadígrafo al ser comparado con el valor crítico. Como era de esperar se obtuvieron valores de coeficiente que muestran que con aumento del brix provocará un aumento de la viscosidad así como que cuando aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, sin embargo para la combinación de ellas la viscosidad disminuye.

Tabla 3
Ejemplo. Algunos datos experimentales para el procesamiento estadístico. Masa cocida

Variables independientes	Coficiente	Error estadístico	t	Nivel de significación
Constante	512,450 00	24,009 00	20,53	0,000 0
B	13,318 10	0,061 50	-21,65	0,000 0
T*B	-0,053 69	0,016 12	-33,30	0,000 0
B ²	0,104 90	0,003 80	27,28	0,000 0
T ²	0,036 12	0,001 28	27,85	0,000 0

$t_{crit} = 2,02$

Análisis de varianza

	Suma de Cuadrados.	Cuadrado Medio	F	P
Modelo	4 365,99	1 091,5	2 305,67	0,000
Residual	31,717 6	0,473 3	-	-

Coficiente de Correlación (R) = 99,98

Fcrit = 2,16

Error estándar de estimación = 0,68

Tabla 4
Ejemplo. Algunos datos experimentales para el procesamiento estadístico. Masa cocida

Resultados del ajuste del modelo

Variables Independientes	Coficiente	Error Estadístico	t	Nivel Significación
Constante	271,105	44,504 0	10,60	0,000 0
T ²	0,049 71	0,748 6	-10,82	0,000 0
B	-4,904 3	0,010 39	11,56	0,000 0
T*B	-0,658 5	0,008 6	-11,84	0,000 0
RC ²	0,003 97	0,000 69	5,75	0,000 0
t _{crit}			2,02	

Análisis de varianza

	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	P
Modelo	1 907,22	476,80	97,78	0,000
Residual	268,24	4,87	-	-

Coficiente de Correlación (R) = 99,23

Fcrit = 2,16

Error estándar de estimación = 0,84

En el análisis de varianza de la regresión se puede observar que el valor de F experimental es muy superior al crítico ($F_{crit}=2,16$), y que se obtuvo un alto coeficiente de correlación múltiple. En el análisis de los residuos se pudo comprobar que existe una distribución uniforme sin tendencia alguna. Este modelo fue determinado para valores de brix (bx) entre 73 y 91 % de sólidos y temperaturas entre 40 y 70 °C.

En la tabla 4 se recogen los resultados relacionados con las masas cocidas empleándose 71 datos. Se puede observar que las variables independientes estudiadas se relacionan con la viscosidad. En este caso la variable brix, incluyendo el cuadrado y el cubo de la misma, así como sus interacciones con el inverso del gradiente resultaron significativas para el cálculo de la viscosidad.

En el análisis de varianza de la regresión se puede observar que el valor de F experimental es también muy superior al crítico ($F_{crit}=2,42$), y que se obtuvo un alto coeficiente de correlación múltiple. En el análisis de los residuos se pudo comprobar que existe una distribución uniforme sin tendencia alguna.

Este modelo fue determinado para valores de brix (B) entre 80 y 100 % de sólidos, rendimiento de cristales entre 20 y 40 % y para temperaturas entre 30 y 40 °C.

Para la validación de los modelos obtenidos se realizaron pruebas de hipótesis entre los valores predicho por el modelo y valores experimentales obtenidos en laboratorio no encontrándose diferencias significativas entre las medias, por tanto los modelos obtenidos pueden ser empleados para

determinar la viscosidad efectiva de los productos modelados.

Conclusiones

1. Se obtuvieron modelos matemáticos para la determinación de la viscosidad de las mieles finales y las masas cocidas "C" con buen ajuste estadístico.
2. Se elaboró un programa en EXCEL que permite el cálculo de la viscosidad con facilidad.
3. El programa elaborado permite realizar estudios de la variación de la viscosidad con la temperatura, el brix y el rendimiento en cristales para las masas cocidas, de forma tal de encontrar las mejores condiciones para obtener un buen agotamiento.

Bibliografía

1. Armas Mirabal S. "Modelación matemática del comportamiento de la viscosidad de los sistemas azucarados". Tesis de grado, ISPJAE, Julio de 2000.
2. Lodos, J. et al. "La influencia de la temperatura sobre la cristalización de las masas cocidas finales",. Cuba azúcar, vol. 3, La Habana, 1978.
3. Lodos, J. "Causas industriales de las altas pérdidas en las mieles finales". Congreso ATAC, Cuba 1998.
4. Méndez, O. "Metodología para el diseño de sistemas tuberías- bomba en la Tecnología de Alimentos". Memorias CICTA-4. Ciudad Habana. 1994.
5. Riera, G.; Méndez, O.; "Modelos matemáticos para calcular la viscosidad efectiva y su aplicación en el diseño y evaluación de redes de tuberías". Taller sobre herramientas de cálculo para Ingeniería en Alimentos. Puebla, Abril 2000.