

MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA CON ECOSIMPRO

Alexander Rodríguez, Luís Felipe Acebes, Cesar de Prada
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid.
Calle Real de Burgos s/n. 47011 Valladolid.
e-mail: [alexander.rodriguez,felipe.prada}@autom.uva.es](mailto:{alexander.rodriguez,felipe.prada}@autom.uva.es),

Resumen

En este trabajo se desarrolló el modelado y la simulación de una unidad de cristalización de la primera etapa del cuarto de azúcar. El modelo elaborado es un conjunto de funciones en que conocidas las condiciones de contorno y suponiendo estas constantes a lo largo del mismo, se calcula las características del lote descargado. Se utilizó el simulador desarrollado en el Centro Tecnológico Azucarero de la Universidad de Valladolid (CTA) para obtener los datos que ajustan el modelo empírico. Con este enfoque se obtiene un modelo que permite una reducción sustancial en el tiempo de ejecución de cálculo, y facilita el uso de técnicas de optimización que requieran muchas ejecuciones del modelo matemático. Se usa la herramienta de EcosimPro para su implementación.

Palabras Clave: Cristalización, Cuarto de azúcar, procesos industriales.

1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza el modelo y simulación de los cristalizadores de vacío llamados *tachas* de la primera etapa del cuarto de azúcar en la industria azucarera, con el objetivo de usarlo posteriormente en una librería de modelos que gestione todo el proceso de producción del azúcar de forma óptima.

El cuarto de azúcar es el último departamento de la fábrica azucarera y es aquí donde se obtiene el azúcar por un proceso de cristalización. La parte más compleja de este proceso de cristalización se lleva a cabo en unos cristalizadores de vacío llamados *tachas*. En ellas se crean los cristales de azúcar que dan lugar al azúcar refinado. El proceso se realiza en tres etapas (1ª, 2ª y 3ª), cada una con sus correspondientes tachas, que conectadas en serie

procesan la parte de la sacarosa no cristalizada en las tachas anteriores, [14], [7].

La cristalización tiene lugar en sistemas multifase y multicomponente, estando relacionada con sólidos particulados distribuidos y variantes en el tiempo. Las etapas más importantes en cualquier proceso de cristalización batch son: (i) Alcance de la sobresaturación. (ii) Formación de núcleos de cristales (nucleación), y (iii) crecimiento para formar cristales grandes [15], [10].

En concreto, la cristalización en el cuarto de azúcar, tiene por objeto obtener cristales de azúcar de la mayor pureza posible. La primera cristalización tiene lugar en las tachas de 1ª, donde cristaliza parte de la sacarosa disuelta en el jarabe estándar, mediante evaporación del agua que contiene el jugo. Todas las tachas operan bajo condiciones de vacío, con objeto de rebajar el punto de ebullición de los productos que se procesan en ellas y así evitar la descomposición térmica de la sacarosa denominada *caramelización* [10], [7].

Cuando se alcanza la condición de sobresaturación en el jugo, se siembran pequeños cristales de azúcar y se les hace crecer añadiendo nuevo jarabe, manteniendo en todo momento las condiciones de sobresaturación. Cuando se ha conseguido un tamaño adecuado de los cristales y se ha llenado la tacha completamente se tiene en su interior un producto denominado *masa cocida* de 1ª, formado por sacarosa cristalizada (azúcar), sacarosa y no-azúcares disueltos en una solución llamada *miel madre*, es entonces cuando la tacha se descarga y se limpia, quedando lista para un nuevo ciclo, [7],[10], [14], [15].

Por otro lado existe un conjunto significativo de contribuciones en la literatura científica dedicadas al modelado y la simulación de los cristalizadores discontinuos de azúcar, [10], [14], [15], pero estos modelos resultan ser,

- Muy complejo para parametrizar, lo cual hace imposible para la toma de decisiones

con base en técnicas de optimización que requieran muchas ejecuciones del modelo matemático.

- Son de naturaleza híbrida, y poseen muchos eventos que están asociados a variables de estado, generando un alto coste computacional en su resolución.

Es por ello que se ha planteado desarrollar un modelo sencillos y empíricos, para la primera unidad de cristalización del cuarto de azúcar con la finalidad de enmarcarlo en un proyecto de investigación más amplio cuyo objetivo es el de desarrollar un sistema de gestión y planificación del Cuarto de Azúcar en base a técnicas de optimización y predicción con un modelo matemático del mismo.

El modelo de la unidad cristalización para la primera etapa del cuarto de azúcar se ha creado utilizando una herramienta de modelado y simulación orientada a objetos, EcosimPro. De esta forma podrá ser reutilizado en la recreación de esquemas de fabricación diferentes y así representar, con relativa facilidad, otras fábricas del sector.

Debido a la falta de datos reales, se ha utilizado el simulador realista de toda la planta de una fábrica de azúcar desarrollado en el CTA para obtener un conjunto de datos que ajusten el modelo empírico.

El artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se describe la unidad de cristalización, sus principales. Seguidamente en la sección 3 se presenta el modelo matemático Posteriormente, en la sección 4, se presentan la implementación en EcosimPro y la sección 5 muestra luego los resultados de la simulación. Finalmente, el artículo termina con las conclusiones y la bibliografía.

2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE CRISTALIZACIÓN

La tacha está constituida por un cilindro vertical de altura similar a su diámetro. En la parte inferior está provista de un calefactor (o calandria) de vapor del tipo de tubos y carcasa, cuyo objetivo es el de transferir el calor latente de la condensación del vapor que fluye en la carcasa del intercambiador hacia la masa cocida que lo hace dentro de los tubos. La presión de vapor proviene de los vahos producidos por el tercer o cuarto efecto de la sección de evaporación, [10].

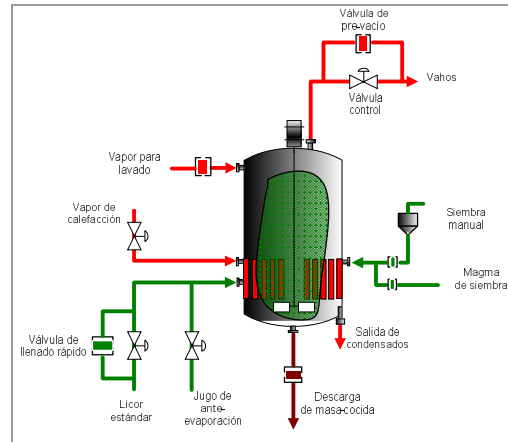


Figura 1. Esquema de Tacha [15].

El jarabe procedente de la etapa de evaporación se envía a la refundidora en él se disuelve el azúcar de segunda y el azúcar de afinado, obteniéndose una solución que se denomina jarabe estándar y que, tras un proceso de filtrado, se envía a las tachas de primera. Es importante que el brix (contenido de sólidos) y la pureza del jarabe que sale de la refundidora se mantenga en un valor prefijado y constante pues la concentración del jarabe con que se alimentan las tachas de 1ª ha de mantenerse dentro de unos márgenes muy estrechos si se pretende obtener regularidad y azúcar de buena calidad. Seguidamente en las tachas de primera se cristaliza parte de la sacarosa disuelta en el jarabe estándar, mediante evaporación del agua que contiene el jugo. Cuando se ha conseguido llenar una tacha se tiene en su interior un producto denominado masa cocida de primera formado por sacarosa cristalizada, sacarosa y no-azúcares disueltos en una solución llamado **miel madre**. Todas las tachas operan bajo condiciones de vacío, con objeto de rebajar el punto de ebullición y así evitar la descomposición térmica de la sacarosa (pérdida de sacarosa). Cuando se alcanza la condición de sobresaturación en el jugo, se siembran pequeños cristales de azúcar y se les hace crecer añadiendo nuevo jarabe, manteniendo en todo momento las condiciones de sobresaturación. Cuando se ha conseguido un tamaño adecuado de los cristales y se ha llenado la tacha completamente se tiene en su interior un producto denominado masa cocida de primera, formado por sacarosa cristalizada (azúcar), sacarosa y no-azúcares disueltos en una solución llamada miel madre, es entonces cuando la tacha se descarga y se limpia. La miel madre es enviada a los malaxadores, los cuales almacena la miel madre para luego enviarla a las centrifugas.

Las tachas operan de de manera semi-batch siguiendo una secuencia de trece etapas predefinidas que se describen a continuación, [15]:

- **Etapas de espera:** se espera hasta que se recibe la señal de carga.
- **Creación de vacío:** esto se logra mediante la regulación de la presión en la cámara.
- **Etapas de carga:** Se llena la cámara de la tacha con jarabe estándar hasta alcanzar un determinado nivel llamado pie de tacha que se corresponde aproximadamente con el 50% del nivel de la tacha y el 35% del volumen máximo del jarabe en ella (en esta zona se encuentra la calandria que ocupa un determinado volumen). Al mismo tiempo que entra jarabe estándar en la tacha se abre la válvula de suministro de vapor de calefacción aumentando la temperatura del jarabe. Al comenzar la evaporación de parte del agua del jarabe, la presión en la cámara aumenta. La válvula de entrada y la de suministro de vapor están totalmente abiertas, y se pone en marcha el agitador.
- **Etapas de concentración:** El objetivo es alcanzar una sobresaturación adecuada para la siembra. Para calentar el jugo y provocar la evaporación de parte del agua, las tachas constan de un elemento calefactor, por el que discurre vapor a presión y que al condensarse cede calor a la masa cocida en la tacha. Evidentemente la evaporación provoca una disminución del nivel de la tacha por lo que es necesario mantenerlo mediante un control on/off que introduce licor estándar. Cuando se llega al brix adecuado, es decir se ha alcanzado la sobresaturación deseada, se introduce la siembra.
- **Etapas de siembra:** se abre la válvula de siembra un tiempo prefijado y se introducen cristales microscópicos de unas pocas micras de diámetro, que son los núcleos de cristalización sobre los que crecerán los cristales de azúcar.
- **Etapas de crecimiento:** se continúa concentrando hasta que la sobresaturación llegue a un valor prefijado.
- **Etapas de aclarado:** se debe eliminar el polvo de azúcar o falso grano que haya podido surgir durante la etapa anterior, para ello se disminuye la concentración para disolver estos cristales mediante la introducción de licor estándar y si no fuera suficiente, añadiendo también jugo de ante-evaporación.
- **Etapas de cocción:** es una de las etapas más importantes y consiste en hacer crecer los granos de azúcar hasta el tamaño apropiado manteniendo la uniformidad en su tamaño (no permitiendo el surgimiento de nuevos granos). Se logra manteniendo la sobresaturación entre límites bien definidos.

En la medida en que la sacarosa en disolución va disminuyendo hay que reponerla añadiendo licor estándar. Se pretende que el tamaño deseado del grano se alcance cuando el nivel en la tacha llegue al máximo permitido (tacha llena). El principal problema de operación está ligado al hecho de que la sobresaturación no se mide directamente. En los sistemas modernos la sobresaturación se controla indirectamente a través del brix. La referencia del Controlador se escoge mediante una tabla que depende del nivel actual de la cocida.

- **Etapas de espera:** la tacha está llena y se espera hasta que se reciba la señal de descarga.
- **Compactación final.**
- **Etapas de descarga:** Se abre la válvula de ruptura de vacío y cuando la presión en la cámara alcance la presión atmosférica se abre la válvula de descarga, vaciándose completamente la unidad.
- **Etapas de lavado:** se introduce vapor de limpieza mediante la apertura durante un tiempo prefijado de la válvula de limpieza.
- **Descarga final:** se abre nuevamente la válvula de descarga y se vacía completamente la tacha, pasando a la primera etapa: espera antes de la carga, quedando así lista para comenzar un nuevo lote.

3 MODELO MATEMATICO

El modelo desarrollado en esta investigación no contemplan la dinámica de la unidad ni aspectos termodinámicos del mismo, ya que no son motivo de estudio, de este trabajo, pero si permite que la operación de la unidad simulada en su conjunto sea realista y capture los elementos esenciales del procesos de cristalización.

Ese modelo no es otra cosa que un conjunto de tablas o funciones en las que en función de las condiciones de contorno cuando empieza un lote, y suponiendo estas constantes a lo largo del mismo, se calculan:

- El brix y la pureza de la miel madre descargada.
- Cantidad de cristales presente en la masa cocida descargada
- La masa del licor estándar que entra en la etapa de carga y cocción.
- La masa cocida descargada.
- Los tiempos de duración de la etapa de carga y cocción así como el tiempo que dura la etapa descarga.

La estrategia a seguir para generar el modelo empírico de las tachas es la siguiente:

- Se establecen las variables de contornos:
Presión de vapor de suministro.
Pureza del licor estándar.
Brix del licor estándar.
- Se fijan los rangos de variabilidad de dichas variables, las cuales se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango de variabilidad de las variables de contorno.

Variable	Inferior	Media	Superior
Brix. (%)	70,03	74,60	76,97
Pureza (%)	94,00	94,60	95,00
Presión (bar)	0,90	1,00	1,30

- Se varía uno a uno cada factor de entrada y se realizan experimentos fuera de línea en un modelo complejo de una tacha de primera desarrollado en el CTA, en los cuales todos los factores se mantienen constantes excepto el que se está estudiando. De este modo, la variación de la respuesta se puede atribuir a la variación del factor, y, por tanto, revela el efecto de ese factor. Las Tablas 2, 3 y 4 representa algunos resultados extraídos de una Tabla más detallada.

Tabla 2. Masa del licor estándar en la etapa de carga y en la etapa de cocción en función todo de la pureza, brix del licor estándar con el que se cargó la tacha y de la presión de vapor.

Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Masa de licor estándar en la etapa de carga.[kg] (Masa_etapa_3)			
	70	72	74	76
90	58645.98	58730.13	58868.43	58969.35
92	58655.64	58736.71	58871.57	58971.85
94	58653.80	58736.81	58872.95	58970.63
96	58659.45	58772.43	58872.98	58970.53
Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Mas del licor estandar en la etapa de cocción.[kg] (Masa_etapa8)			
	70	72	74	76
90	626.19	626.19	626.27	636.50
92	636.50	636.59	636.59	653.40
94	653.34	653.30	653.20	681.75
96	681.69	681.51	681.38	523.47

Tabla 3. Masa de la masa cocida en la etapa de descarga en función todo de la pureza, brix del licor estándar con el que se cargó la tacha y de la presión de vapor.

Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Masa cocida descargada .[kg] (Masa_etapa11)			
	70	72	74	76
90	7500.00	6625.25	5783.01	5003.85
92	9065.11	8078.00	7135.72	6248.23
94	8264.00	7344.62	6457.65	5620.00
96	7543.00	6673.72	5838.92	5051.78

Tabla 4. Duración de las etapas de carga, cocción y descarga en función todo de la pureza, brix del licor estándar con el que se cargó la tacha y de la presión de vapor.

Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Duración de la etapa de carga [s] (tiempo_3)			
	70	72	74	76
90	90.99	90.31	92.18	92.30
92	91.57	91.23	92.34	93.12
94	91.55	91.55	92.20	92.71
96	91.88	91.88	91.88	93.03
Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Duración de la etapa cocción (tiempo_8)			
	70	72	74	76
90	9906.97	8838.72	7841.44	6894.98
92	9047.13	8047.42	7106.98	6216.31
94	8250.63	7328.60	6440.00	5607.32
96	7500.00	6625.25	5783.01	5003.85
Presión 0.9 bar				
Pureza\Brix	Tiempo_11			
	70	72	74	76
90	686.18	686.19	686.19	686.27
92	696.50	696.50	696.59	696.66
94	713.40	713.34	713.30	713.20
96	741.75	741.69	741.51	741.38

- Seguidamente se realizan ajustes lineales de las Tablas anteriores para luego incorporarlas al modelo. Del ajuste lineal se obtiene unas funciones (ecuaciones 2 y 3) que depende de la pureza, brix del licor estándar con el que se cargó la tacha y de la presión de vapor,

$$Masa_etapa(n) = f_n(Brix, Pureza, P_{vap}) \quad (n = 3,8,11) \quad (1)$$

$$Tiempo_n(n) = f_n(Brix, Pureza, P_{vap}) \quad (n = 3,8,11) \quad (2)$$

- Partiendo de la suposición que la cantidad de impureza que entra a las tachas se mantiene constante, se calculan las concentraciones de los

compuestos que forman la miel madre en la descarga con las ecuaciones 3,4 y 5. De esta forma se garantiza que se cumplan los balances de masas.

$$C_{sac_out_tacha} = \frac{(Masa_etapa3) \cdot Csac_in}{Masa_etapa11} + \frac{(Masa_etapa8) \cdot Csac_in - Masa_etapa \cdot Crist}{Masa_etapa11} \quad (3)$$

$$C_{impu_out_tacha} = \left(\frac{Masa_etapa3}{Masa_etapa11} \right) \cdot C_{impu_in} + \left(\frac{Masa_etapa8}{Masa_etapa11} \right) \cdot C_{impu_in} \quad (4)$$

$$Crist = \left(\frac{Aout_11}{100} \right) \quad (5)$$

- Las tachas interaccionan con la refundidora y el malaxador, a través del uso de un perfil especial del caudal de entrada y del caudal de salida tal y como se observa en la Figura 2 y 3.

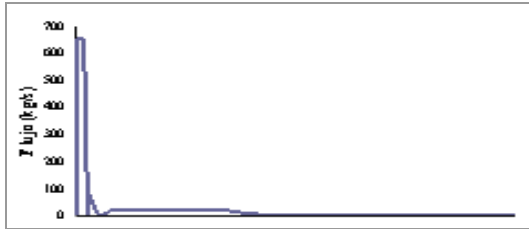


Figura 2. Perfil del caudal de carga de tacha.



Figura 3. Perfil del caudal descarga.

El caudal de entrada es cero todo el tiempo excepto en tres situaciones: cuando la orden de carga llega y comienza la carga de la unidad etapa 3, cuando está activa la etapa de concentración (etapa 4) y la tercera, cuando se está en la etapa de cocción (etapa 8). Pero para el caso en estudio se desprecia la etapa 4 debido a que tiene un tiempo de duración muy corta y en cuanto al proceso no es tan significativa como las otras dos. La Figura 2. b) se corresponde con el caudal de salida el cual, es siempre cero, excepto en la etapa de descarga (etapas 11). El modelo tiene en cuenta estos perfiles y los tiempos correspondientes a cada etapa, y mediante el uso de

las siguientes ecuaciones se estiman los caudales medios:

$$Win_etapa3 = \frac{Masa_etapa3}{t_etapa3} \quad (6)$$

$$Win_etapa8 = \frac{Masa_etapa8}{t_etapa8} \quad (7)$$

$$Wout_etapa11 = \frac{Masa_etapa11}{t_etapa11} \quad (8)$$

Con este enfoque se obtiene un modelo que permite una reducción sustancial en el tiempo de ejecución de cálculo, y facilita el uso de técnicas de optimización que requieran muchas ejecuciones del modelo matemático.

4 IMPLEMENTACIÓN EN ECOSIMPRO

Se ha usado el entorno de simulación EcosimPro para modelar y simular la unidad de cristalización de la primera etapa del cuarto de azúcar. Dicho entorno dispone de un lenguaje moderno de modelado orientado a objetos (OOML) llamado EL (EcosimPro Language). Ha sido desarrollado para modelar dinámicamente sistemas físicos continuos y discretos e incorpora potentes algoritmos de integración para resolver dichos modelos siendo capaz de tratar las discontinuidades de manera rigurosa. Permite el modelado matemático de componentes complejos representados por ecuaciones algebraico diferenciales (DAE) y eventos. [2]

Tabla 5. Variables utilizadas en la etapa de preparación.

Tipo	Símbolo	Descripción
Entrada	W_in_a_tacha	Flujo de jarabe estándar. [kg/s]
	L	Nivel en la refundidora. [%]
	Brix_ref	Brix del jarabe estándar. [%]
	Pu_ref	Pureza del jarabe estándar. [%]
	P_vap	Presión de vapor. [bar]
Salida	t_ETAPA_3	Tiempo de duración de la etapa de carga de la tacha. [s]
	Masa_ETAPA_3	Masa de jarabe estándar en la etapa 3. [kg]
	t_ETAPA_8	Tiempo de duración de la etapa 8, etapa de cocción[s]
	Masa_ETAPA_8	Masa de jarabe estándar en la etapa 8. [kg]

	t_ETAPA_11	Tiempo de la etapa de descarga[s]
	Masa_ETAPA_11	Masa total descargada[kg]
	Bout_11	Brix mil madre descargada [%]
	Pout_11	Pureza de miel madre descargada[%]
	AZUCAR	Porcentaje de Azúcar [%]

La programación de las tachas se ha realizado mediante las secuencias de las etapas principales por las que transcurre el proceso de cristalización. En la Figura 4 se muestra el diagrama de estado de dichas secuencias.

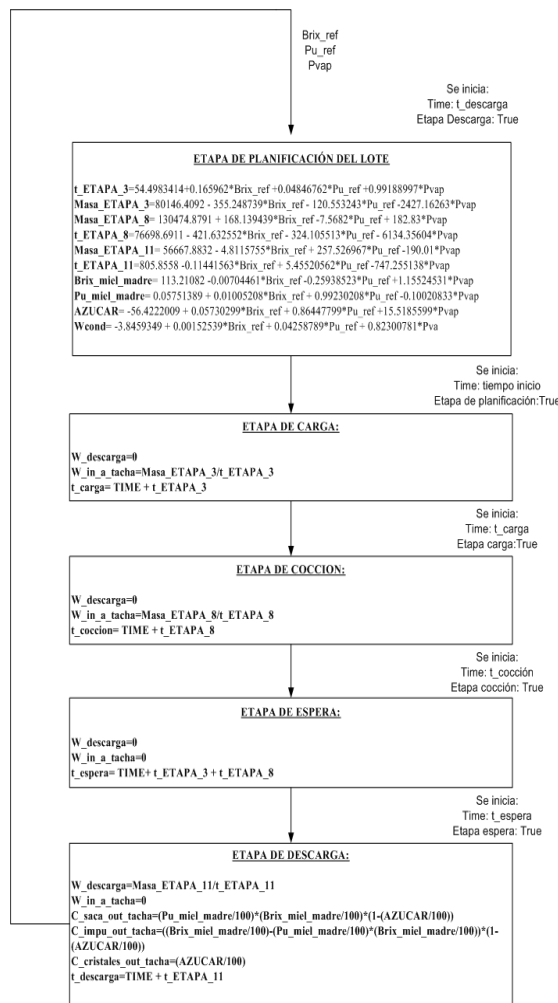


Figura 4. Diagrama de las secuencias de programación de la tacha.

La etapa de planificación, consiste en la caracterización del lote a partir de las variables de entradas. En las etapas de carga, cocción se define el

perfil del flujo de carga de las tachas. La etapa de espera es el tiempo de transición entre la etapa de cocción y la etapa de descarga, finalmente en la etapa de cocción se determina el perfil del flujo de descarga, brix y pureza de la masa cocida descarga, así como también las concentraciones de cada uno de los productos presente en la masa cocida descargada. Las etapas se activan cuando el tiempo se iguala al tiempo que dura dicha etapa.

5 RESULTADOS

Se lleva a cabo la simulación con un tiempo máximo de simulación tal que nos permita la observación del carácter cíclico del proceso.

Se comparan los resultados obtenidos con los resultados generados por el simulador del proceso real del CTA, para ello se dejaron fijas las variables de entradas a las tachas; Brix Pureza y Presión de suministro de vapor en 76%, 94% y 1 bar, mientras que la concentración de sacarosa y de impureza que contiene el licor estándar que alimenta las tachas es de aproximadamente 72.96% y 3.04%.

En la Figuras 5 se muestran los resultados obtenidos con el flujo de carga a tacha

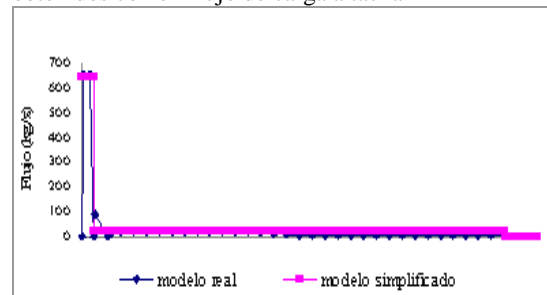


Figura 5. Perfil de carga.

Por otro lado la Figura 6, ilustra la validación del flujo descarga de las tachas,

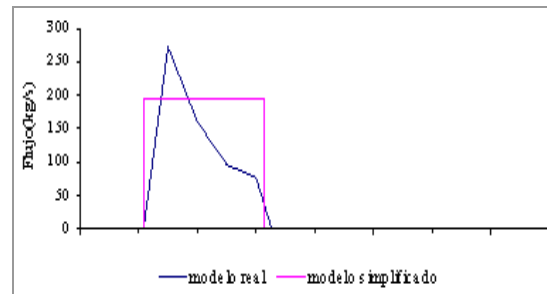


Figura 6. Perfil de descarga.

Finalmente en las Figuras 7 y 8 se comparan los flujos descarga de sacarosa e impureza.

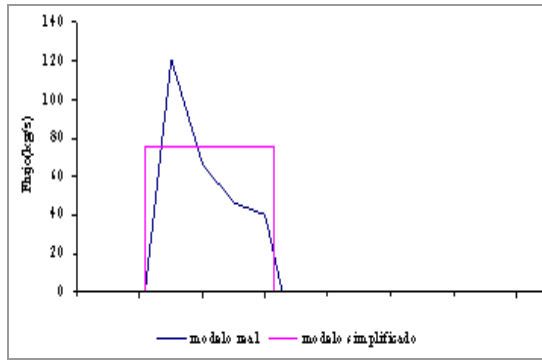


Figura 7. Perfil de sacarosa.

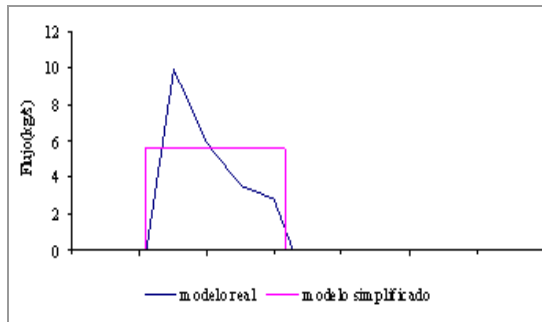


Figura 8. Perfil de impurezas.

Una vez encontrado el funcionamiento regular del cuarto de azúcar se procedió a variar la presión de suministro de vapor a tacha con el fin de determinar si el modelo desarrollado se ajusto a los cambios pertinentes.

Las Figuras 9 se comparan el efecto que tiene el aumento de la presión de vapor de 1 bar a 1.2 bar en el flujo de carga, mientras que las Figuras 10 se ilustra el efecto que ocasiona disminuir la presión de 1 bar a 0.8 bar. Un aumento en la presión de suministro ocasiona una disminución en el tiempo de la etapa de cocción, mientras que una disminución ocasiona el efecto contrario.

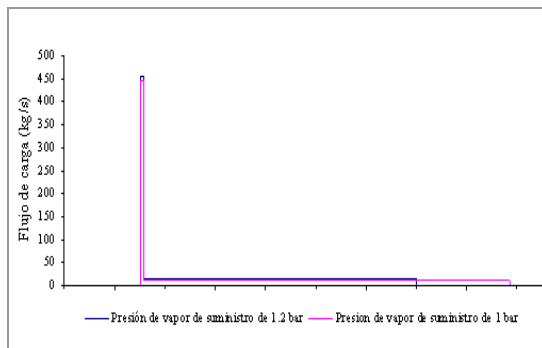


Figura 9. Aumento de la presión de suministro.

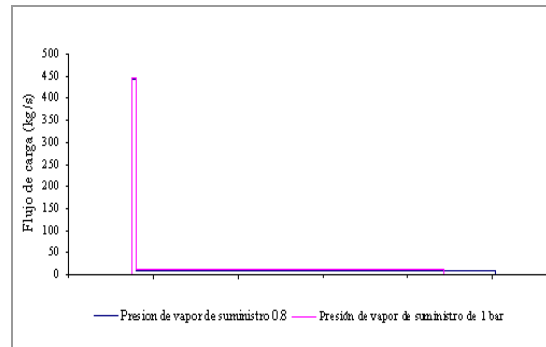


Figura 10. Disminución de la presión de suministro.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado un modelo matemático dinámico de una unidad de cristalización presente en la primera etapa de una industria azucarera. El modelo realizado permite estimar las propiedades del flujo de descarga conocidas las condiciones de contornos. Con este enfoque se obtiene un modelo que permite una reducción sustancial en el tiempo de ejecución de cálculo.

El siguiente paso es enmarcar esta investigación en un proyecto más amplio cuyo objetivo es el de desarrollar un sistema de gestión y planificación del Cuarto de Azúcar en base a técnicas de optimización y predicción con un modelo matemático del mismo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer agradece el soporte económico de la investigación a las empresas Azucarera Ebro S.L y ACOR, así como su disposición al personal de las azucareras de Toro y Olmedo.

Referencias

- [1] A., M. G. (1982). "Beet sugar technology". Colorado, USA: 3d Edition. Beet Sugar Development Foundation.
- [2] Acebes, L. C. (2001). "Rule Based Approach To First Principles Modelling In The Sugar Industry". Advanced Control of Chemical Processes. (Biegler L., Brambilla A. & Scali C. (Ed)), Pergamon Press. Vol. 1, pp. 335-340.
- [3] Acebes, L. F. (2009). "Análisis en línea del estado energético de plantas azucareras". *Revista de Informática y Automática Industrial*. , Vol. 6, num. 3, 2009, pp: 68-75.
- [4] ACOR. (DICIEMBRE 2000). "PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AZUCAR".

- [5] Åström .Karl Johan, M. S. (1998). EVOLUTION OF CONTINUOUS-TIME MODELING AND SIMULATION. *The 12th European Simulation Multiconference, ESM'98*, , Manchester, UK.
- [6] Balcells, J. J. (1997). “*Autómatas programables*”. Barcelona, 1997. Ed. Marcombo S.A.
- [7] C. de Prada, D. S. (2008). Plant-wide control of a hybrid process. *Int. J. Adapt. Control Signal Process.* 2008; 22:124–141. 2007, 22:124–141.
- [8] CTA, C. T. “*Cuarto de Azúcar, manual de operación y entrenamiento*”.
- [9] EcosimPro by EA Internacional, <http://www.ecosimpro.com>. Recuperado el Noviembre de 2009.
- [10] Mazaeda, R. (2009). “*Librería Orientada a Objetos para el Modelado y Simulación del Cuarto de Azúcar de Fábricas de Operarios*”. Universidad de Valladolid, España. Tesis Doctoral. Supervisor: Prada, de C.
- [11] Merino A., A. L. (2009). “Modelado y Simulación del proceso de producción de azúcar”. *Revista Iberoamerica de Automática e Informática Industrial*.
- [12] Merino, A. (2008). “*Librería de Modelos del Cuarto de Remolacha de una Industria Azucarera para un Simulador de Entrenamiento de Operarios*”. Universidad de Valladolid, España. Tesis Doctoral. Supervisor: Acebes, L.F.
- [13] Pérez, E. (2001). MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA EN ECOSIMPRO DE UNA ESTACIÓN DE EVAPORACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA. *1ª Reunión de Usuarios de EcosimPro, UNED*, Madrid, 3-4 Mayo.
- [14] Prada, C. d. (2002). “Supervision and advanced control in a beet sugar factory. Computational Techniques in Food Engineering”. *Revista iberoamericana de automatica e informatica industrial*, 103-112. .
- [15] Sarabia, D. (2007). “ *Modelado, Simulación y Control Predictivo de Sistemas Híbridos*” . Universidad de Valladolid, España. Tesis Doctoral. Supervisor: Prada, de C.
- [16] Urquía, A. (2000). *Modelado Orientado a Objetos y Simulación de Sistemas Híbridos en el ámbito del Control de Procesos Químicos* . Madrid: Tesis doctoral. Supervisada: Sebastián Dormido.
- [17] Van der Poel P. W., S. H. (1998). Sugar Techonology: Beet and Cane Sugar Manufacture. Ed. *Bartens* , ISBN: 3-87040-065-X.