

SÍNTESIS DE ESQUEMAS DE COCCIÓN EN FABRICACIÓN DE AZUCAR: EL ENFOQUE DE RED DE ESTADOS Y TAREAS

Raúl Sabadí Díaz*,

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.

Leopoldo Rostgaard Beltrán,

Empresa Azucarera “Camilo Cienfuegos”.

Bishnu Das,

Centre for Process Systems Engineering.

Recibido: Mayo/2005

Aprobado: Septiembre/2005

En un trabajo anterior,^{4,6} se describe el uso de un nuevo enfoque para la síntesis de esquemas de cocción en la industria azucarera, el de la representación EON desarrollada por Graells y colaboradores.³ En aquel trabajo, y en todos los anteriores, se usa el enfoque de la simulación, pues se parte de una asignación previa de tareas a equipos. En este trabajo se utiliza el enfoque de la síntesis de procesos por optimización directa ya que no hay asignación previa de tareas a equipos, siendo el modelo matemático el encargado de establecer esta asignación. En este artículo se describe un caso de estudio usando el enfoque de red de estados y tareas.⁵

Palabras clave: Azúcar, cocción de azúcar, esquemas de cocción, modelación, planificación, síntesis de procesos.

SYNTHESIS OF OUTLINES OF COOKING IN PRODUCTION OF SUGAR: THE FOCUS OF NET OF STATES AND TASKS

A former job dealing with the scheduling of operations (synthesis of boiling schemes) in raw sugar production from cane has been done using a simulation approach,^{4,6} Tasks were assigned to the available equipment before the scheduling analysis was done with a simulation approach.³ Now, a direct optimization approach is used for the synthesis of boiling schemes in raw sugar production. This approach, described by Kondili *et. al.*⁵ is based on the state task network representation (STN) and allows studying the production strategy without assigning, a priori, tasks to equipment. In this paper, a case study in sugar production is described.

Key words: Sugar, sugar boiling, boiling schemes, modeling, scheduling, process synthesis.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior referido a esta temática⁶ se explica la necesidad del uso de modelos matemáticos para la síntesis de esquemas de

cocción en la industria azucarera. En ese trabajo se usó el software UNISIM para simular el caso de un ingenio azucarero en producción de azúcar crudo, mostrando la factibilidad del uso de un nuevo enfoque en este problema, el de la

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Apartado 4026, La Habana 10 400, Cuba. E-mail: raul.sabadi@icidca.edu.cu; E-mail: lrostgaard@yahoo.es; E-mail: b.das@ic.ac.uk

representación EON desarrollada por Graells y colaboradores.³ Se incluyeron en el análisis los perfiles de utilización de materias primas, materiales intermedios, vapor y electricidad.

En ese trabajo, y en todos los anteriores, se parte de una asignación de tareas a equipos previa al análisis usándose el enfoque de la simulación. En este trabajo se utiliza el enfoque de la síntesis de procesos ya que no hay asignación previa de tareas a equipos, siendo el modelo matemático el encargado de establecer esta asignación. Para ello se usa el enfoque de red de estados y tareas (STN) propuesto por Kondili y colaboradores⁵ y que aparece descrito en la primera parte de este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar la herramienta de software GBSS (General Batch Scheduling System), desarrollada en el Imperial Collage de Londres, en la planificación de operaciones discontinuas en ingenios azucareros. Esto se realiza con la idea de probar esta herramienta como soporte para la síntesis de los esquemas de cocción en la fábrica. Para ello se utiliza un caso de estudio del ingenio “Camilo Cienfuegos”. En las figuras 1 y 2 aparecen representadas las estrategias de operación en la producción de azúcares comerciales y de agotamiento, representadas con algunos de los

equipos en que ellas son posibles. Las masas cocidas A y B se producen utilizando 7 posibles tachos y las masas cocidas C se realizan en 2 tachos. En todos los casos existe descarga de materiales intermedios a tanques, estando representados algunos de los equipos de almacenamiento intermedio que pueden ser utilizados.

Primero se representa el proceso como una red de estados y tareas (STN). Esta red tiene dos tipos de nodos: los “estados” (identificados por círculos), que representan materias primas, productos intermedios y finales y las “tareas” (identificadas por rectángulos), que representan a las operaciones de proceso que transforman el material de uno o varios “estados” de entrada a uno o varios “estados” de salida. En la figura 3 se muestra la representación STN de las estrategias de producción de masas comerciales y en la figura 4 la que se corresponde con la producción de masas de agotamiento.

La función objetivo definida utilizada es la maximización de la producción de azúcares comerciales en el área. Con la información suministrada se genera un modelo matemático que representa el problema estudiado, caracterizado por:

- Horizonte de tiempo: 24 horas
- Número de variables enteras: 584
- Número total de variables: 162

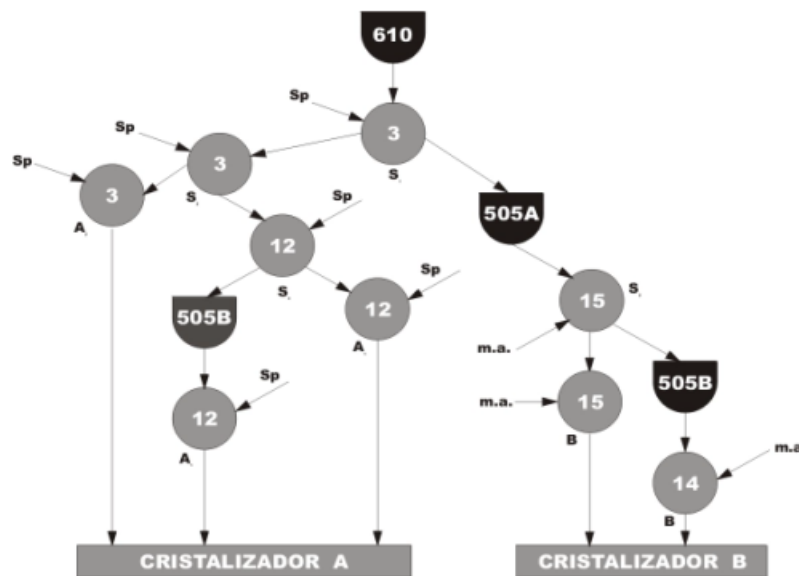


Figura 1. Estrategias de producción de azúcares comerciales

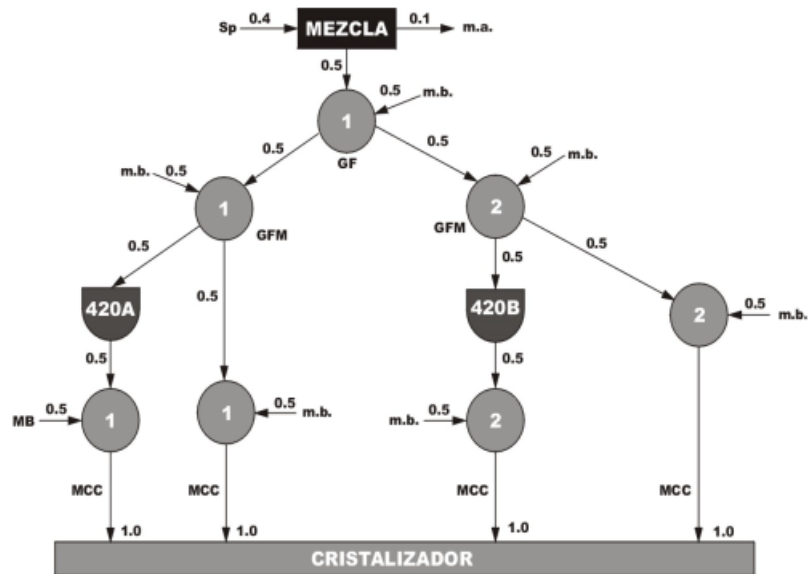


Figura 2. Estrategias de producción de azúcares de agotamiento

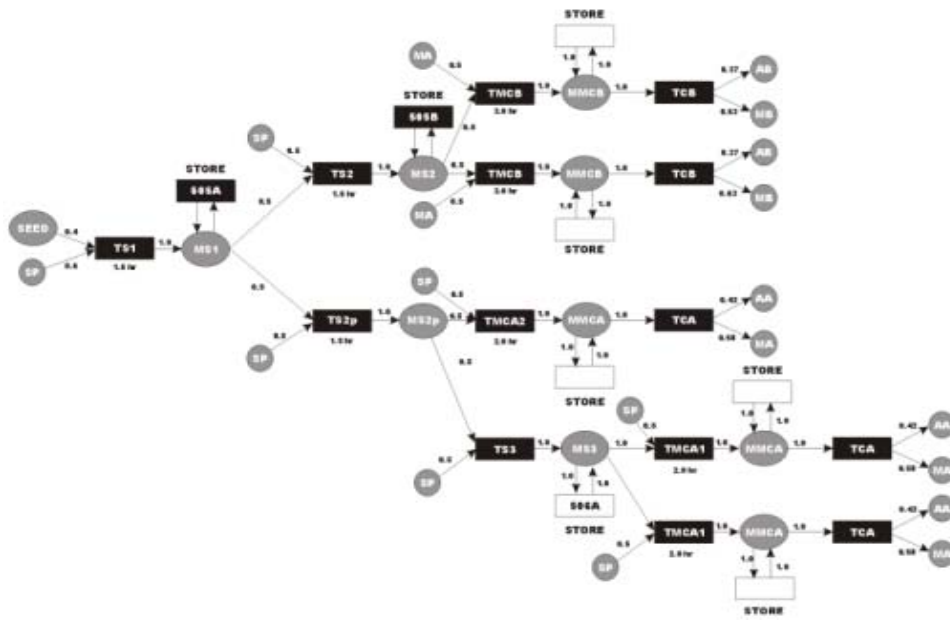


Figura 3. Representación STN de la estrategia de producción de azúcares comerciales

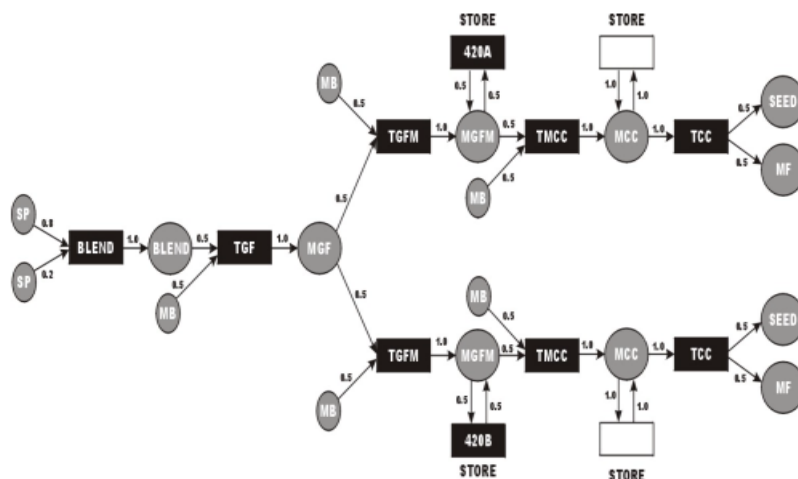


Figura 4. Representación STN de la estrategia de producción de azúcares de agotamiento

Centro Azúcar 33(2): abril-junio, 2006

- Número de restricciones: 1 543
- Número de elementos distintos de cero: 6 895
- Tiempo total de CPU (segundos): 4 575

En las figuras 6, 7, y 8 se pueden apreciar los perfiles de producción y consumo de materias primas, productos intermedios y finales, a lo largo de las 24 horas del análisis. Estos perfiles se corresponden con la asignación de tareas a equipos que la solución del modelo propone como variante óptima del problema planteado.

Los resultados obtenidos para la síntesis de la estrategia de producción en un período de 24 horas se reflejan en el diagrama Gantt de la figura 5.

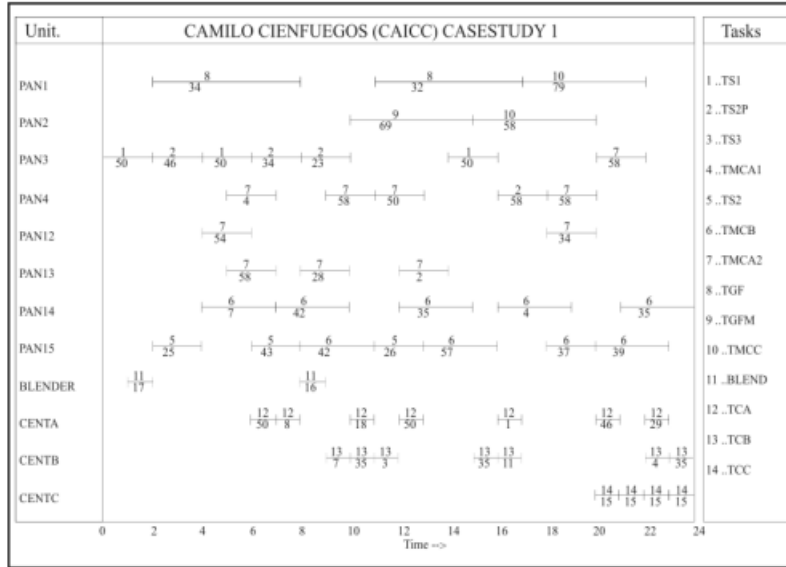


Figura 5. Diagrama Gantt del proceso

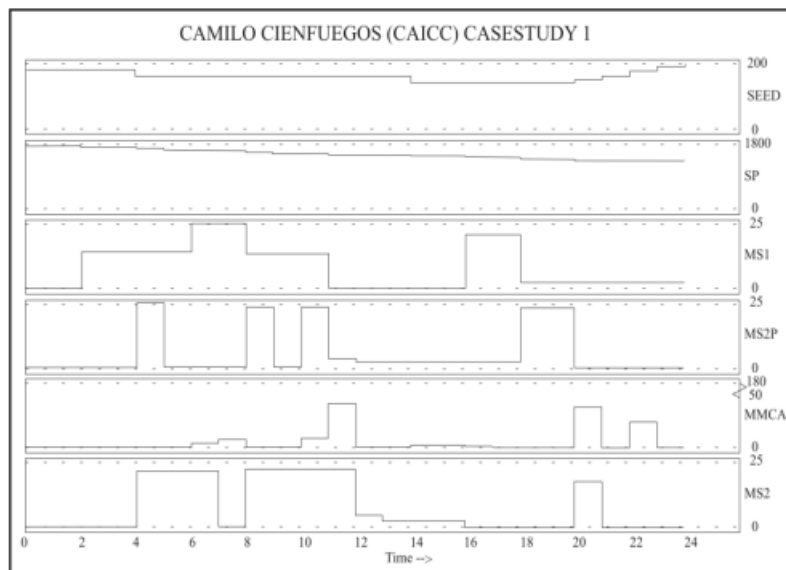


Figura 6. Perfiles de producción y consumo de materiales

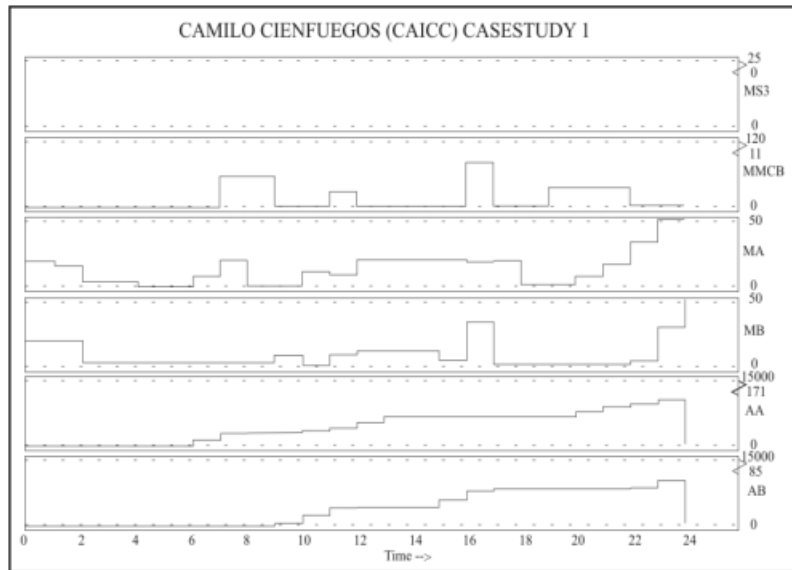


Figura 7. Perfiles de producción y consumo de materiales.

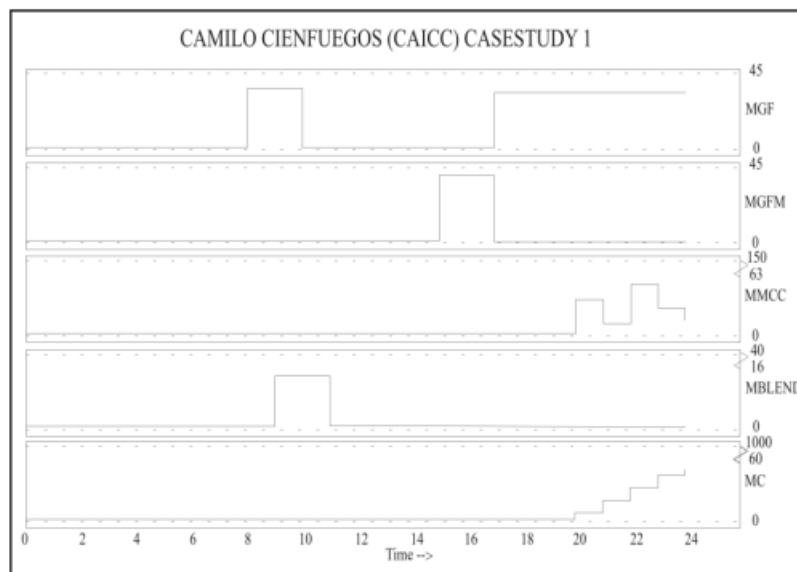


Figura 8. Perfiles de producción y consumo de materiales.

A pesar de que en este caso de estudio no se definieron los detalles de las operaciones correspondientes a cada tarea en las recetas de cocimientos, se puede apreciar que el modelo admite perfectamente esta definición y su análisis en la búsqueda de la solución óptima del problema. Esta solución permite que se utilicen de una forma más efectiva las capacidades instaladas ya que no se trabaja con una propuesta inicial que puede hacer inflexible el análisis. Por

supuesto que cualquier solución deberá tener en cuenta la conectividad real entre los equipos del área de trabajo para evitar soluciones no factibles en la práctica en la fábrica. Esto también puede incluirse en las restricciones del problema. Es decir, una restricción que indique las conexiones reales que hay entre los equipos para evitar soluciones que no sean factibles de aplicación. O, de lo contrario, incluir restricciones que permitan calcular los costos asociados a la

instalación de tuberías y/o equipos de bombeo para lograr esta conectividad.

El hecho de utilizar variables discretas del tiempo (problema MILP) provoca que el número de variables sea muy grande, incluso para casos pequeños de análisis. Esta situación provocó que los trabajos iniciales de Aguado¹ se quedaran en el planteamiento teórico. Con gBSS ya es posible encontrar solución al problema aunque a un alto costo de tiempo de máquina (tiempo de CPU); en nuestro caso la solución (para un horizonte de tiempo de 24 horas) requirió más de una hora y media de ejecución en una estación de trabajo Sun con sistema operativo Unix.

Una de las características de la red STN es que los tiempos de proceso de las tareas son fijos. Sin embargo, las operaciones de cocción no siempre tienen igual duración, aun tratándose de un mismo material en un mismo tacho. Por ello, el enfoque propuesto por De Armas² sigue siendo válido, es decir, usar el método de Monte Carlo para acercarse a la realidad los resultados de la simulación. Esto se haría realizando un número alto de repeticiones de la optimización con variaciones aleatorias en los tiempos de duración de las operaciones, generadas a partir de los estadígrafos de los valores históricos de cada operación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con el análisis del caso de estudio demuestran que:

1. La representación STN es adecuada para el estudio de casos de planificación de operaciones discontinuas (síntesis de esquemas de cocción) en la producción de azúcar de caña. Este modelo permite que no haya que proponer “*a priori*” una estrategia de trabajo para evaluar su factibilidad y optimizarla. El sistema propone una solución óptima para las condiciones de proceso y equipos.
2. El modelo matemático que describe a esta representación del proceso es más riguroso que el enfoque EON desarrollado en la UPC. Por la razón anterior el modelo es mayor y requiere mayor potencia de cálculo, es decir, una

computadora más potente. Sin embargo, la prueba realizada demuestra que no es prohibitiva esta supuesta desventaja teniendo en cuenta el desarrollo de los medios de cálculo actuales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar en la implementación de este tipo de modelo y su algoritmo de solución con vistas a su incorporación en la herramienta PLANAZUCAR⁴ desarrollada en el ICIDCA. En esta implementación debe tenerse en cuenta la utilización del método de Monte Carlo para simular lo que ocurre en la realidad con la variación en los tiempos de duración de las operaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguado, A.: “Un modelo de programación discreta para la secuenciación de los tachos en los centrales azucareros”. *Investigación Operacional*, (8): 16-22, enero-febrero, 1973.
2. De Armas, C.: “Design and Management of Production Systems in Boiling House of Sugars Mills”. Tesis Doctoral, Brno, 1980.
3. Graells, M. y col.: “General approach and tool for the scheduling of complex production systems”. *Comp. & Chem. Eng.*, Vol. 22, Suplemento, S395-S402, 1998.
4. Hurtado, R. y R. Sabadi: “Sistema para la planificación de operaciones en el área de tachos de un ingenio azucarero”. *Centro Azúcar*, 2005.
5. Kondili, E.; C. C. Pantelides and R. W. H. Sargent: “A general algorithm for short-term scheduling of batch operations - 1. MILP formulation”, *Computers & Chem. Eng.*, Vol. 17 (2): 211-227, 1993.
6. Sabadí, R. y col.: “Síntesis de esquemas de cocción en fabricación de azúcar: el enfoque de red orientada a eventos”, *Centro Azúcar*, 2005.