

Titulo:
**Metodología preliminar para el Análisis
de Sistemas Discontinuos**
**Preliminary methodology for the batch
systems analysis**

Yaillet Albornas Carvajal¹; Julio Pedraza Gárciga; Erenio González Suárez; Meilyn González Cortés.

¹Centro de Análisis de Procesos (CAP). Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Código Postal 54830. Tel: 211825-211826-281164. e-mail: yailletac@uclv.edu.cu

Fecha de presentación: Enero\2011

Resumen

Dada la gran cantidad de aspectos que es necesario tener en cuenta para el desarrollo de un proceso discontinuo; en el trabajo se presenta una metodología para el análisis de dichos sistemas. Para ello se analizan las características fundamentales de los sistemas discontinuos, siguiendo los diferentes pasos y logrando una caracterización sistemática, con lo cual se obtiene un diagrama heurístico que será el que dirija futuros trabajos en este sentido. En dicho diagrama no solo se tienen en cuenta los equipos y los problemas de materiales involucrados, sino que también se involucran aspectos relacionados con la incertidumbre tanto en el tiempo como en los requerimientos del mismo.

Palabras clave: Diagrama, metodología, proceso discontinuo, sistema.

Abstract

Due to great quantity of aspects that is necessary analyze to the development of a discontinuous process; in this work a methodology for the analysis of these systems is presented. For they are analyzed it the fundamental characteristics of the discontinuous systems, giving a continuity to the different steps and achieving a systematic characterization, with that which a heuristic diagram is obtained that will be the one that directs future works. In this diagram the equipment and the involved materials was related, as well as aspects related with the time uncertainty and the requirements.

Key words: Diagram, methodology, discontinuous process, system.

Introducción

Las principales etapas de un proceso por lo general operan de forma discontinua. Esto se traduce en que la temperatura, la concentración y la masa entre otras propiedades, varían con el tiempo. La mayoría de los procesos *a batch*, como también se les conoce, se llevan a cabo mediante una serie de etapas *a batch* y semicontinuas, y a su vez estas etapas semicontinuas operan continuamente con periódicas cargas y descargas o extracciones.

La mayoría de los procesos discontinuos se diseñan a partir del escalado de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, particularmente si son para la obtención de productos químicos especiales; cuando esto ocurre, entonces el desarrollo del proceso brinda una receta o fórmula para el desarrollo del proceso industrial. Esta receta es un procedimiento paso a paso muy parecido al procedimiento llevado a cabo en el laboratorio, pero escalando las cantidades necesarias para su obtención. Brinda información de las cantidades de materiales que deben ser usadas en cada etapa, las condiciones de temperatura, presión, así como las veces que tiene lugar cada etapa.

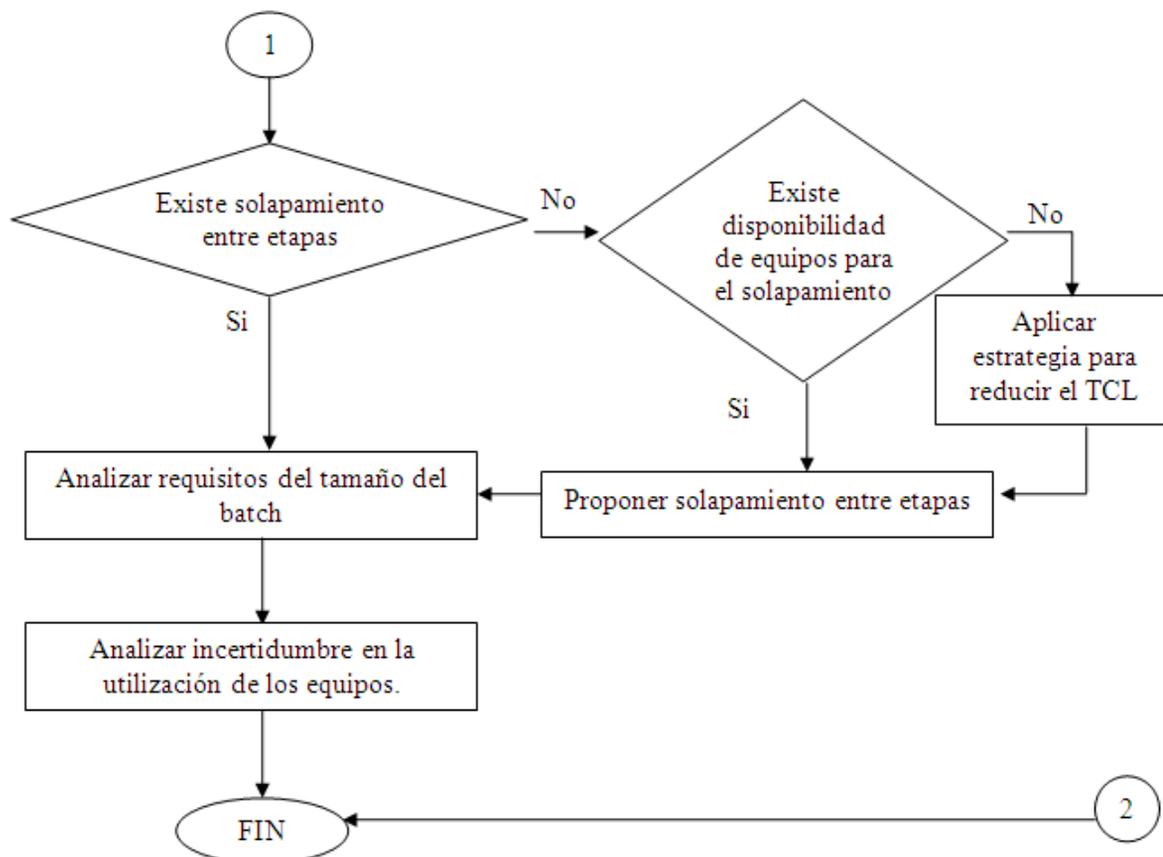
En los procesos *a batch* las prioridades son a menudo bien diferentes de los procesos continuos a gran escala, particularmente cuando es para la obtención de químicas especiales, el menor tiempo posible para tener un nuevo producto en el mercado es frecuentemente la mayor prioridad. El desarrollo del producto, la prueba, el trabajo en la planta piloto, el diseño del proceso y la construcción se deben llevar a cabo en paralelo, en la medida de las posibilidades.

Aspecto de vital importancia a tener en cuenta a la hora de analizar los procesos discontinuos o con etapas discontinuas, es la organización, o planificación de cada una de las operaciones de manera tal que se logre obtener el producto en el menor tiempo posible o, si el proceso lo permite, lograr mediante la combinación de tareas continuidad del mismo. Antes de considerar un sistema de reacción y separación, se necesita revisar la operación fundamental que será utilizada *a batch* haciendo énfasis en cuáles serán las diferencias con respecto al funcionamiento en el sistema discontinuo.

Desarrollo

La planificación de las operaciones de un proceso de producción es por lo general el problema más crítico a la hora de desarrollar un proceso de producción. Para los procesos *a batch* la planificación a corto plazo con la asignación de recursos teniendo en cuenta las limitaciones de tiempo para fabricar uno o más productos siguen una receta para proceso discontinuo. A pesar de todos los adelantos significativos que se han hecho en estos estudios existen varios desafíos y preguntas que todavía no han sido resueltos tal y como los refiere⁵.

Existe una gran variedad de aspectos que necesitan ser considerados cuando se va a desarrollar el modelo de planificación para este tipo de procesos. A continuación se muestra un diagrama heurístico que resume los aspectos fundamentales que se han de tener en cuenta al analizar un proceso a batch.



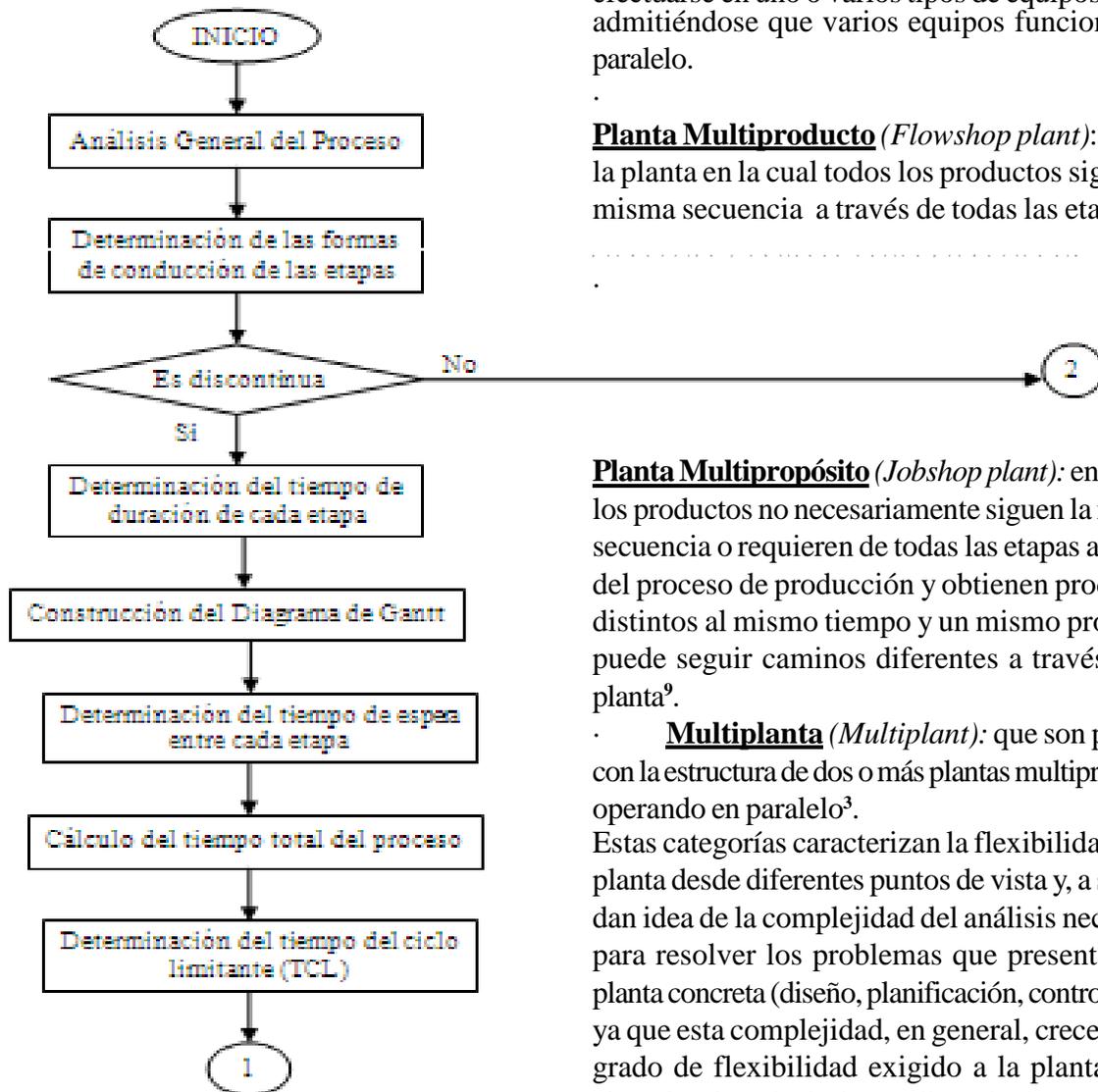


Figura 1. Diagrama heurístico para el análisis de procesos discontinuos

Primeramente se debe hacer un análisis general del proceso, para lo cual se deben tener en cuenta la topología del proceso, o sea si se lleva a cabo en⁶, o sea la forma en que se llevará a cabo el proceso¹.

Los mecanismos de asignación de los equipos a las tareas pueden ser:

- **De asignación fija:** Cada tarea se efectúa en un equipo especificado.

- **De asignación flexible:** Cada tarea puede efectuarse en uno o varios tipos de equipos, admitiéndose que varios equipos funcionen en paralelo.

- **Planta Multiproducto (Flowshop plant):** que es la planta en la cual todos los productos siguen la misma secuencia a través de todas las etapas de⁷.

- **Planta Multipropósito (Jobshop plant):** en la cual los productos no necesariamente siguen la misma secuencia o requieren de todas las etapas a través del proceso de producción y obtienen productos distintos al mismo tiempo y un mismo producto puede seguir caminos diferentes a través de la planta⁹.

- **Multiplanta (Multiplant):** que son plantas con la estructura de dos o más plantas multiproducto operando en paralelo³.

Estas categorías caracterizan la flexibilidad de la planta desde diferentes puntos de vista y, a su vez, dan idea de la complejidad del análisis necesario para resolver los problemas que presenta cada planta concreta (diseño, planificación, control, etc.), ya que esta complejidad, en general, crece con el grado de flexibilidad exigido a la planta². Por ejemplo, el grado de desarrollo en las herramientas utilizadas para realizar el diseño de una planta futura está en relación directa con la flexibilidad obtenida en el diseño final. De todas formas, no es probable que una planta real pueda encuadrarse en una sola de las divisiones indicadas para todos y cada uno de los criterios de clasificación enunciados. En muchas ocasiones el funcionamiento de la planta deberá ser descrito a través de situaciones intermedias, que permitan contemplar adecuadamente la complejidad real del proceso utilizando herramientas sencillas.

A continuación se debe analizar la forma en que se conduce cada una de las operaciones dentro del proceso, si se conduce de forma continua o discontinua. Si el modo de operación es continuo,

no se tendrá en cuenta en este trabajo, si es discontinuo, entonces se debe analizar el tiempo que dura cada etapa para con ello construir el diagrama de Gantt. El llamado Diagrama de Gantt consiste en un diagrama de barras que muestra el nivel de utilización de las unidades de proceso y almacenamiento por los diversos productos a lo largo del tiempo⁸; a partir del mismo se pueden calcular aspectos fundamentales característicos de procesos discontinuos que son:

Tiempo de espera de etapa: Es el tiempo que se demora una etapa para pasar a la siguiente.

Tiempo total del proceso: periodo de tiempo entre el comienzo de la acción inicial y el acabado de la acción final de la misma carga.

Tiempo del ciclo limitante: el tiempo comprendido entre fabricaciones de lotes de un mismo producto (excluyendo los retrasos derivados de la puesta en¹.

Posteriormente se analiza si existe solapamiento entre las etapas del proceso. La mayor utilización de los equipos es uno de los objetivos del diseño de los procesos *a batch*, esto se puede lograr mediante el solapamiento de los batches. Como es obvio, cuando se procesa más de una carga en operación con solapamiento, el ciclo de tiempo se reduce. El solapamiento es un medio para más de un batch en las diferentes etapas y reside en el proceso en cualquier tiempo, como se muestra a continuación².

a) en operación sin solapamiento; b) en operación con solapamiento.

Seguidamente se analizan los principales aspectos estructurales; si se tiene en cuenta que el elemento básico que controla el proceso de producción es el tiempo del ciclo limitante (TCL) de cada producto, entonces se impone que se analicen las diferentes estrategias que reducen el TCL, que son:

- Utilización de unidades en paralelo.
- Combinación y descomposición de tareas.
- Reglas de transferencia entre tareas.
- Utilización de almacenamiento intermedio.

El uso de unidades en paralelo fuera de fase para reducir el TCL. Debe notarse que la adición de unidades en paralelo fuera de fase implica no solamente la reducción en TCL sino que también puede permitir una reducción en los tamaños de otros equipos implicados, afectando tanto a las decisiones de ingeniería de diseño como a las de operación de la planta, tanto más cuanto mayor sea el coste de los equipos implicados¹.

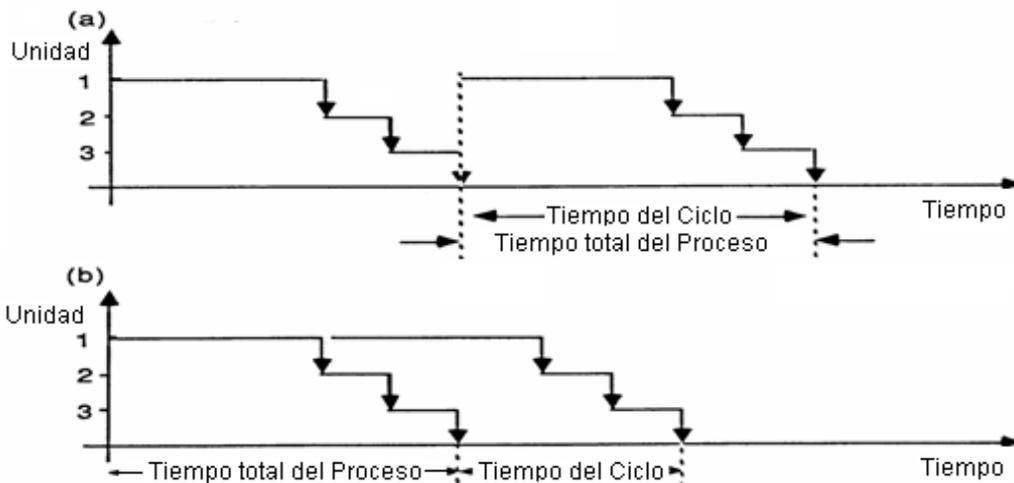


Figura 2. Diagrama de Gantt mostrando la utilización de las diferentes unidades y el ciclo limitante

La estrategia seleccionada para añadir unidades en paralelo afectará también a la flexibilidad de producción de la planta frente a un mercado sujeto a condiciones de demanda cambiante. Por ejemplo, al añadir unidades en paralelo idénticas en una cierta etapa se generarán varios caminos de producción alternativos, pero por todos ellos se obtendrá el mismo tamaño de lote.

Resultados similares pueden obtenerse mediante la descomposición del conjunto de subtareas asignado a cierto equipo discontinuo. Esta estrategia permite reducir el TCL, lo cual permitirá un aumento de productividad o la reducción de los tamaños de los equipos implicados.

Un procedimiento para reducir los tiempos muertos consiste en la combinación de tareas consecutivas. La combinación de tareas no suele permitir disminuciones en el TCL (en todo caso, una combinación incorrecta puede provocar aumentos no deseados del TCL), pero reduce el número total de unidades de proceso necesarias, permitiendo la disminución de los costos de inversión⁸.

La introducción dentro de la línea de producción de equipos que permitan el almacenaje de productos intermedios puede aportar notables mejoras en la utilización del resto de los equipos instalados. La situación de los equipos de almacenaje dentro del camino de producción definirá una serie de divisiones del mismo en subprocesos, y la capacidad de almacenaje determinará el alcance del desacoplamiento entre dichos subprocesos. Así, puede introducirse la capacidad suficiente para que los tiempos de ciclo y los tamaños de lote queden desacoplados entre cada uno de los subprocesos para que operen de forma totalmente independiente, o bien instalar un sistema de almacenaje de capacidad más limitada que impondrá restricciones adicionales de productividad

Estrategias de transferencia de material entre tareas

Uno de los pasos más delicados dentro de un proceso discontinuo se produce en el momento en que, después de haber finalizado una determinada etapa j , el producto intermedio resultante debe trasladarse a otro equipo para la realización de la etapa $j' +$

1. La estabilidad de dicho producto intermedio y la disponibilidad de los equipos adecuados en el momento oportuno imponen una serie de restricciones que se deben cumplir simultáneamente. Estas restricciones quedan generalmente enmarcadas dentro de alguna de las situaciones siguientes:

Tiempo de Espera Nulo: ZW (*Zero Wait*), no es admisible ninguna espera entre el final de esta etapa y el inicio de la siguiente. Esta situación se suele dar cuando se trata un producto inestable.

Tiempo de Espera Limitado: FW (*Finite Wait*), no puede transcurrir más de un cierto tiempo entre el final de la etapa y el inicio de la siguiente. **Sin**

Almacenaje Intermedio: NIS (*No Intermediate Storage*), si el siguiente equipo no está disponible es admisible la espera, pues no existen equipos adecuados para realizar la operación. El equipo continuará ocupado mientras no se traslade el material a otro equipo para la tarea siguiente. La probabilidad de retención del material en proceso introduce flexibilidad temporal.

Almacenaje Intermedio Ilimitado: UIS (*Undefined Intermediate Storage*), si el equipo siguiente no está disponible, es admisible la espera y existe una capacidad de almacenaje ilimitada, con lo que el equipo que ha realizado la última tarea quedará disponible inmediatamente después de acabado el proceso, salvo que sea necesaria una limpieza.

Almacenaje Intermedio Limitado: FIS (*Finite Intermediate Storage*), al igual que en el caso anterior, es admisible la espera, pero la capacidad de almacenaje es limitada (en cantidad o en número de productos que se pueden almacenar simultáneamente), por lo que en ocasiones, si el equipo siguiente no está disponible y el sistema de almacenaje está ocupado, no será posible liberar inmediatamente el equipo que acaba de realizar una tarea (NIS). Cuando la cantidad límite de almacenaje es suficientemente grande, la situación es equivalente a la de UIS.

En la práctica, cada etapa de proceso estará sujeta a diferentes reglas de transferencia. En tal caso, se dice que la red de proceso opera bajo condiciones de Almacenaje Intermedio Mixto (MIS, del inglés *Mixed Intermediate Storage*).^{8, 1}

Siguiendo el Diagrama, luego de haber analizado las estrategias para la reducción del Tiempo del Ciclo limitante se debe proceder a analizar los requisitos del tamaño del batch, que pueden ser fijos o variables.

Finalmente se debe hacer un análisis de la incertidumbre que existe en la utilización de los equipos, también puede ser analizada en este acápite la incertidumbre en la programación de las operaciones, tal y como lo referencia⁴.

Conclusiones

1. Mediante el diagrama heurístico propuesto es posible resumir los pasos principales en el análisis de procesos *a batch*.
2. Los tiempos de duración de cada una de las etapas constituyen el factor primordial para el diseño y análisis de procesos discontinuos.
3. Las diferentes estrategias planteadas permiten tanto la reducción del tiempo del ciclo limitante y con ello del proceso como la reducción de los costos.
4. La incertidumbre es uno de los aspectos que se deben abordar, ya sea en la utilización de los equipos como en la programación de las operaciones.

Bibliografía

1. Acevedo, L. y E. González: "Diseño de Plantas Químicas Discontinuas para Instalaciones de la Industria Química y Fermentativas", en *Vías para el desarrollo de instalaciones de la industria química y fermentativa en condiciones de incertidumbre*, Ministerio de Educación Superior de Cuba, Ciudad de la Habana, 1999.
2. Barrer, M. and J. Rawtani: *Practical Batch Process Management*. ISBN 0 7506 6277 8. Newnes. Elsevier, 2005.
3. Espuña Camarasa, A.: Contribución al Estudio de Plantas Químicas Multiproducto de Proceso Discontinuo. Barcelona, septiembre de 1994.
4. Li Z. And M. Ierapetritou: Process scheduling under uncertainty: Review and challenges. *Computers and Chemical Engineering* 32: 715-727, 2008.
5. Méndez, C. A. *et al*: "State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes," *Computers and Chemical Engineering* 30: 913-946, 2006.
6. Qian Yu and Pan Ming: "Modeling and Optimization for Scheduling of Chemical Batch Processes and *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 17(1): 1-7, 2009.
7. Scenna, N. J. y otro: *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos*, Cap. XIX, 741-766. ISBN: 950-42-0022-2, 1999.
8. Smith, R: *Chemical Process Design and Integration*, Chapter 14, ISBN 0-471-48680-9, 2005.
9. R.,S.H. Mah: "Chemical Process Structures and Information Flows". Butterworths Publishers, USA, 1990.