

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
INDUSTRIALS DE BARCELONA (UPC)**
Departament d'Enginyeria Química

**CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE
PLANTAS QUIMICAS
MULTIPRODUCTO DE PROCESO
DISCONTINUO**

Autor: Antonio España Camarasa

Barcelona, septiembre de 1994

6. Conclusiones

El diseño, operación y control de plantas en operación discontinua constituyen temas de estudio de gran interés actual, donde las mejoras introducidas en las metodologías y procedimientos de cálculo y decisión utilizados se traducen rápidamente en incrementos en la productividad, en la calidad y/o en la capacidad de respuesta al mercado. Los procedimientos utilizados en otros sectores industriales, como las plantas de fabricación de componentes discretos, la industria mecánica, las cadenas de montaje, etc., normalmente no son directamente aplicables al sector químico, debido a las características de los procesos de transformación empleados, de las variables a controlar y de los materiales que se manejan. En cualquier caso, su implantación y utilización suelen ser más complejas.

En esta tesis se han desarrollado metodologías que han permitido aplicar eficazmente procedimientos de cálculo asistido por ordenador a problemas de diseño, decisión y gestión que se presentan en plantas químicas discontinuas multiproducto en condiciones de operación reales. Entre los resultados obtenidos se destacan los siguientes:

1. Para solventar el problema de síntesis y diseño preliminar de este tipo de plantas, se ha desarrollado:
 - (a) Una estrategia de diseño eficiente que, basándose en las formulaciones habituales del problema, permite una reducción sustancial en el número global de variables y restricciones. La formulación puede ser fácilmente adaptada a las restricciones propias de cada caso concreto, incluyendo la presencia de equipos en paralelo en fase, fuera de fase o con asignación dependiente del producto, el análisis de situaciones con equipos de almacenaje intermedio, estudios de remodelación, etc.
 - (b) Un sistema de optimización, basado en el cálculo de gradientes, que permite una reducción significativa del esfuerzo de cálculo necesario respecto a otros procedimientos que utilizan programación matemática. La estrategia propuesta es también mucho más eficiente que otros sistemas heurísticos. La simplificación es tal que, siguiendo el algoritmo propuesto, es relativamente sencillo trasladar las relaciones indicadas sobre un programa de "hoja de cálculo" y optimizar el diseño por iteraciones sucesivas bajo control manual en casos relativamente complejos.
2. Para obtener la gestión óptima de los recursos de producción, se han establecido nuevos criterios para el desarrollo de sistemas de planificación eficientes aplicables situaciones industriales de plantas químicas discontinuas/semicontinuas multiproducto.
 - (a) Las características específicas de cada caso hacen inviable la aplicación de sistemas de planificación basados en modelos generales y en procedimientos de optimización comerciales.

- (b) La función objetivo debe reflejar los beneficios económicos (cualitativos y cuantitativos) derivados de la aplicación de un plan de producción. Su formulación se concibe como un sumatorio de diferentes términos, cada uno de los cuales identifica una característica del plan que incidirá sobre dichos beneficios.
 - (c) El procedimiento no debe intentar reproducir la situación manual, donde habitualmente se toman decisiones a diferentes niveles, ya que la flexibilidad en el tratamiento de la información quedará muy restringida. El sistema debe conocer toda la información necesaria y tratarla siempre con el mismo grado de detalle.
 - (d) La utilización de campañas multiproducto puede permitir notables mejoras en la eficiencia del plan de producción, pero se debe estudiar su utilización en cada momento. Las circunstancias de mercado y de disponibilidad de los diferentes recursos pueden alterar las conclusiones preliminares (análisis de las campañas), por lo que es necesario disponer de un sistema que permita calcular todas las consecuencias de las diferentes decisiones de planificación.
 - (e) Se ha identificado un algoritmo genérico válido para múltiples situaciones industriales, que puede adaptarse a las características de cada caso concreto. El procedimiento es fácilmente ampliable para contemplar situaciones que presenten mayor flexibilidad que el caso estrictamente multiproducto y ha permitido obtener resultados muy satisfactorios en todos los casos industriales en los que se ha comprobado.
 - (f) Para asegurar el éxito de la implantación de estos procedimientos, es imprescindible el desarrollo e instalación de un modelo de la planta y de sistemas manuales de planificación y acceso a la información. De esta forma es posible detectar rápidamente posibles errores en las especificaciones del modelo o de la función objetivo a optimizar, y se permite a los futuros usuarios una familiarización gradual con la nueva sistemática.
3. La integración de los sistemas de diseño y planificación sobre una misma estructura ha permitido:
- (a) Considerar durante el diseño nuevas restricciones derivadas de situaciones de trabajo reales y reducir el grado de incertidumbre con el que se trabaja habitualmente, al facilitar el análisis de las respuestas de una determinada planta a las condiciones previsibles de mercado.
 - (b) Identificar situaciones en las que el uso de campañas multiproducto mejora la utilización de los equipos y permite, por tanto, superar los resultados obtenidos mediante las formulaciones iniciales del problema de diseño.
 - (c) Introducir nuevos criterios de selección entre alternativas de diseño diferentes con costes de inversión semejantes.
 - (d) Modificar las decisiones de diseño en función de los costes de fabricación no proporcionales a la producción.

- (e) Obtener los mejores diseños para diferentes escenarios de producción, lo cual permite identificar soluciones más flexibles en función de los escenarios más probables.
4. La aplicación de los sistemas desarrollados a casos de diseño descritos en la literatura especializada permite concluir que:
- (a) Tomando como referencia el valor de la función objetivo a optimizar, los resultados obtenidos por los procedimientos propuestos en esta tesis son comparables, y en algunos casos superiores, a la solución obtenida por métodos presuntamente más rigurosos.
 - (b) El esfuerzo de cálculo requerido por los sistemas propuestos es muy inferior al necesario para resolver los mismos problemas mediante sistemas de optimización comerciales, que requieren el planteamiento de formulaciones matemáticas estrictas. La reducción del tiempo de cálculo es un factor especialmente importante al tratar problemas que deben resolverse con frecuencia, como es el caso de la elaboración del plan de producción de la planta.
 - (c) Los procedimientos de cálculo propuestos presentan mucha mayor robustez, por lo que su utilización es mucho más sencilla y fiable, especialmente cuando las dimensiones del problema aumentan.
 - (d) La incorporación de reglas heurísticas apropiadas permite adaptar fácilmente los modelos y los procedimientos de cálculo necesarios a situaciones reales.
5. Además de las comparaciones frente a otros procedimientos sobre casos publicados, se ha comprobado la validez de estos conceptos en escenarios industriales obteniéndose en todos ellos importantes mejoras tanto en la eficacia de la utilización de los recursos productivos como en el control y la flexibilidad de la planta. Por lo que respecta a los sistemas de planificación de la producción, la adaptación de los procedimientos a cada caso concreto, tanto por lo que respecta a la programación como al sistema de diálogo con el usuario, ha permitido una rápida integración de estos sistemas en el conjunto de herramientas de trabajo habitualmente utilizadas por el personal de las diferentes empresas.

6.1. Sugerencias para desarrollos posteriores

El alcance de los resultados obtenidos y el análisis de las aplicaciones industriales llevadas a cabo permiten identificar unos objetivos que constituyen la continuación lógica de los planteamientos expuestos en esta tesis. Entre estos temas destacan:

- **Ampliación de los modelos utilizados** para contemplar situaciones de mayor flexibilidad, propias de procesos de fabricación más complejos que los analizados en esta tesis (caso multipropósito) en una situación de mercado que requiere

gran capacidad de adaptación de la oferta a la demanda y mayor eficacia en la utilización de las instalaciones.

- **Minimización de residuos:** La gestión del impacto ambiental en plantas químicas en operación discontinua presenta problemas específicos. La aparición de subproductos, residuos y efluentes viene dada, en general, por la receta utilizada, pero su reducción, valoración o aprovechamiento puede quedar condicionado por aspectos relacionados con la planificación de operaciones, el mantenimiento preventivo, la eficiencia en el uso de la energía, etc.
- **Integración energética:** En una planta discontinua, cada corriente solamente existe durante unos determinados intervalos de tiempo. Es necesario coordinar la ejecución de las diferentes tareas que involucran etapas de calefacción y refrigeración, lo cual afecta directamente a la planificación de la producción y debe ser contemplado también por las herramientas de diseño.
- **Tratamiento de la incertidumbre:** La flexibilidad que comporta el modo de operación discontinuo facilita la solución de diferentes problemas derivados de la falta de conocimiento de la planta, las operaciones y/o el escenario de producción. Sin embargo, es necesario avanzar en este conocimiento para mejorar la eficiencia global del sistema productivo.
- **Optimización de recetas:** Disponiendo de un modelo detallado de la planta será posible analizar nuevas condiciones de operación, así como la corrección de las mismas de acuerdo con la evolución del funcionamiento de los equipos.
- **Implantación en situaciones industriales:** El desarrollo de sistemas ("lenguajes de programación") que faciliten el proceso de adaptación e implantación de estas metodologías sobre entornos industriales y que utilicen las herramientas (bases de datos, sistemas de ventanas, etc.) que se están convirtiendo en los estándares *de facto* de los procedimientos de manejo de la información, es fundamental ante la constante evolución del mercado de la informática.

La mayor parte de estos temas son objeto actual de estudio por parte de diversos grupos de investigación. Específicamente, en el Departamento de Ingeniería Química de la U.P.C. se lleva a cabo una amplia labor investigadora como continuación del trabajo aquí expuesto.