

Metodología de optimización de procesos industriales relacionando las inversiones con los costos operativos

Hugo Flores, Gustavo Pérez ¹

Lucía Gioia ²

José Raúl Medina ³

RESUMEN

La optimización de procesos es un área de trabajo que ha progresado en los últimos años, considerando cada superestructura de manera independiente, los resultados reflejan limitaciones en cuanto a costos se refiere, ya que los servicios auxiliares y la red de intercambio de calor vendrían dados como el resultado de la planta en sí, o como función de aquélla, y no en cuanto a la inversión resultante para la mejor alternativa de síntesis del proceso analizado. En este trabajo proponen cotejar distintas metodologías aplicables al diseño óptimo de una instalación de procesamiento de leche fluida, con el mecanismo de esterilización denominado Ultra Alta Temperatura (UHT), utilizando un simulador comercial disponible (SuperPro Designer, V 8.5). Los resultados arrojan que el peso relativo de las inversiones en relación con los costos de operación es esencial para establecer una metodología de optimización; o para desechar un método complicado frente a una solución tomada con más sentido común ingenieril, que herramientas de optimización, en sus diferentes versiones. En cuanto a los resultados obtenidos se concluye que la optimización económica rigurosa tiene que ser tenida en cuenta conjuntamente con la mejor eficiencia de redes de intercambio calórico (“pinch”) y no cada una por separado.

Palabras clave: *síntesis de procesos, pasterización, simulación, costo anual equivalente*

¹ Professore de la Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral – Santiago del Estero, Santa Fe- Argentina

² Alumna pasante de investigación de la Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina

³Asesor metodológico, Profesor adjunto dedicación exclusiva de la Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. Director del proyecto de investigación: jrmedina@fiq.unl.edu.ar

ABSTRACT

The optimization of processes is a work area that has progressed in recent years, considering each superstructure independently, the results reflect cost constraints, since the auxiliary services and the heat exchange network would come data as The result of the plant itself, or as a function of it, and not in terms of the resulting investment for the best synthesis alternative of the analyzed process. This work proposes to compare different methodologies applicable to the optimal design of a fluid milk processing facility, using the Ultra High Temperature (UHT) sterilization mechanism, using an available commercial simulator (SuperPro Designer, V 8.5). The results show that the relative weight of investments in relation to operating costs is essential to establish an optimization methodology; Or to discard a complicated method versus a solution taken with more common sense engineers, than optimization tools, in their different versions. As for the results obtained, it is concluded that rigorous economic optimization has to be taken into account in conjunction with the best efficiency of pinch networks, and not each separately.

Palabras clave: *optimization, heat exchange network, process synthesis, UHT*

INTRODUCCIÓN

La optimización de procesos es un área de trabajo que ha representado un desafío en los últimos años, siendo su crecimiento y consolidación notables. Aunque se ha progresado en la síntesis de procesos considerando cada superestructura de manera independiente, los resultados arrojan serias limitaciones en cuanto a costos se refiere, ya que al realizar la síntesis de la planta química (Douglas, 1985), los servicios auxiliares y la red de intercambio de calor vendrían dados como el resultado de la planta en sí, o como función de aquélla, no importando el precio que se necesitara para alcanzar una síntesis óptima.

En este caso, los autores se proponen cotejar distintas metodologías aplicables al diseño óptimo de una instalación de procesamiento de leche fluida, con el mecanismo de esterilización denominado Ultra Alta Temperatura UHT, o UAT, en su sigla en español.

Existe un antecedente importante en el cual se estudió el proceso de pasteurización de la leche por medio de la simulación del mismo (Bon, J. y col. 2010), que no hace uso del concepto de “pinch” (Linnhoff, B. and Turner, J.A., 1981), pero que logra interesantes resultados, permitiendo la comprensión del problema. Por otra parte, existe algún antecedente de haber sido utilizado el proceso de pasteurización para un análisis dinámico, lo que permitió al grupo de trabajo cotejar estos datos con los resultados obtenidos. La condición de la mayor temperatura, a alcanzar para el propósito de esterilización en un corto tiempo prefijado, es una variable clave en la aplicación de la “metodología pinch”.

El resultado del análisis está condicionado a esta variable y, en consecuencia, la recuperación energética dependerá de su elección. Por esta razón, en esta propuesta se tiene en cuenta ese hecho para cotejarlo con otra metodología (costo total anual mínimo), haciendo uso de técnicas de optimización tradicionales, utilizando un simulador comercial disponible (SuperPro Designer, V 8.5), como el sistema de ecuaciones de igualdad del problema a resolver.

Se ha simulado y optimizado una instalación típica de las comerciales existentes, observándose diferencias según el objetivo empleado en la minimización de los costos anuales. La incidencia de la inversión amerita su inclusión más rigurosa cuando los costos totales no son mayoritariamente debido a los costos operativos, como se podía esperar, desde un punto de vista intuitivo.

Los resultados económicos están sustentados en la base de datos que posee el simulador comercial usado, por lo que sirven, esencialmente, para cotejar alternativas y discernir entre ellas. El caso estudiado es muy simple, haciéndolo atractivo para analizar en detalle variantes y aprender del problema en sí mismo. En cuanto a los resultados obtenidos se concluye que la optimización económica rigurosa tiene que ser tomada en cuenta conjuntamente con la mejor eficiencia de redes de intercambio calórico (pinch) y no cada una por separado.

METODOLOGÍA

Para estudiar el significado económico de la aplicación de la metodología “pinch” (Linnhoff & Flower, 1978), se han elegido dos casos de estudio. El primero un ejemplo muy simple, en donde se enfatiza la aplicación de los conceptos económicos, a modo de presentación del espíritu del trabajo; y el otro, que basándose en un esquema sencillo típico de una empresa láctea, permite ver el juego que se da entre las variables y las soluciones que presenta el problema.

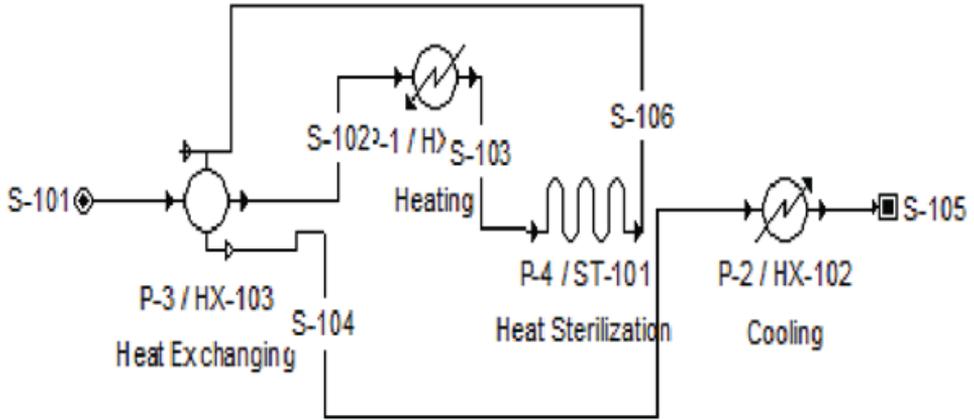
Se ha utilizado el simulador comercial SuperPro Designer (Intelligen Inc., 1994) para llevar adelante el análisis. El mismo cuenta con una base de datos que permite el análisis de las inversiones, los costos de producción, y, consecuentemente, el cálculo de los flujos de caja o fondos, con posterior estimación de la rentabilidad.

RESULTADOS

En la Figura N°1 (de fuentes propias) se aprecia la representación simple del problema estudiado. En el intercambiador HX-103 se producirá el denominado punto “pinch”, pudiéndose elegir la diferencia de temperatura mínima entre las corrientes o ΔT_{min} , de modo de estudiar paraméricamente el sistema y su optimización económica, mediante la minimización de los costos anuales.

Para un determinado caudal de leche, un modelo de equipos de intercambio adoptado y una temperatura de pasteurización elegida, se tendrán diferentes resultados para cada valor de la diferencia de temperaturas mencionada (ΔT).

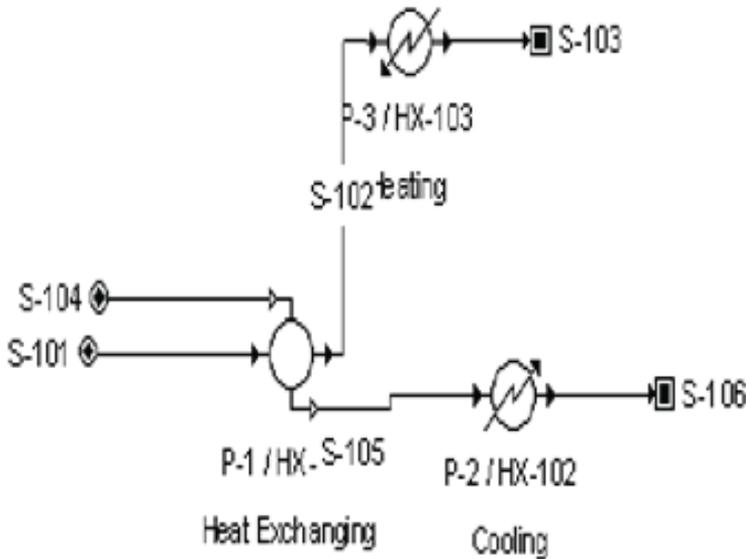
Figura 1. Esquema simplificado de esterilización UAT



Fuente: elaboración propia

Con estos resultados numéricos se analizaron los costos totales anuales para cada caso, los mínimos consumos de servicios auxiliares y además las tasas internas de retorno de la planta, en cada caso. Asimismo, a modo de caso de estudio, se estudió el esquema simple que se representa en la figura 2.

Figura 2. Ejemplo simple (dos corrientes)



Fuente: elaboración propia

En este problema de dos corrientes, el punto “pinch” se presenta en el denominado HX-101, pudiéndose hacer el mismo tipo de consideraciones que en el caso de la pasteurización. Se puede argumentar, en este caso, los “ahorros” logrado en servicios a costa del intercambiador mencionado.

Haciendo el análisis de los costos totales anuales como se puede ver en la Tabla N° 1 (de datos propios), tomando un horizonte de planificación de 10 años, para la instalación, y una tasa de costo de oportunidad del 12% en U\$, dio como resultado que la diferencia de temperatura óptima era de 10°C, variando esta entre 20° y 5°C, de a 5°C por vez, respectivamente.

Este resultado es coincidente con el punto de mayor ahorro de servicio caliente (vapor de baja), como era de esperarse.

Para la planta simplificada de leche UAT, también, se encontró que el delta de temperaturas óptimo era de 10°C. Por supuesto, en esta situación el peso relativo de los costos de operación es grande, influyendo en los resultados, consecuentemente.

Un dato de interés se produce al comparar la instalación diseñada con dos modelos de intercambiadores distintos. Lo usual en estas plantas lácteas es la utilización de marcos y placas, por razones, fundamentalmente, de asepsia; pero se cotejó este resultado contra los equipos tradicionales de casco y tubos, a los fines de estudiar la incidencia de los modelos, como se puede ver en la Tabla N° 2. Resultó que el salto óptimo de temperaturas, para los intercambiadores de casco y tubo, es diferente a los de placas, siendo el valor obtenido de 15°C.

Otro análisis fue la variación del valor de la temperatura de esterilización, según lo aconsejado y teniendo presente el posible ensuciamiento para los valores más altos de esta. Se procedió a estudiar tres valores, a saber: 72°, 85° y 95°C. La conclusión sobre este particular es que dada la gran incidencia de los costos operativos (C.OP.), el resultado no sufre significativas variaciones, tanto en los costos totales anuales (CTA) ni en cuanto a los valores de tasa de retorno (TIR). En consecuencia, conviene elegir 72°C porque la inversión fija es menor y se trabaja con menores problemas de ensuciamiento.

Otro caso de esterilización estudiado fue la pasteurización industrial de helados. Para ello, se tomó como ejemplo el caso representado en la Figura 3.

Tabla 1. Comparación de costo anual y tasa de retorno

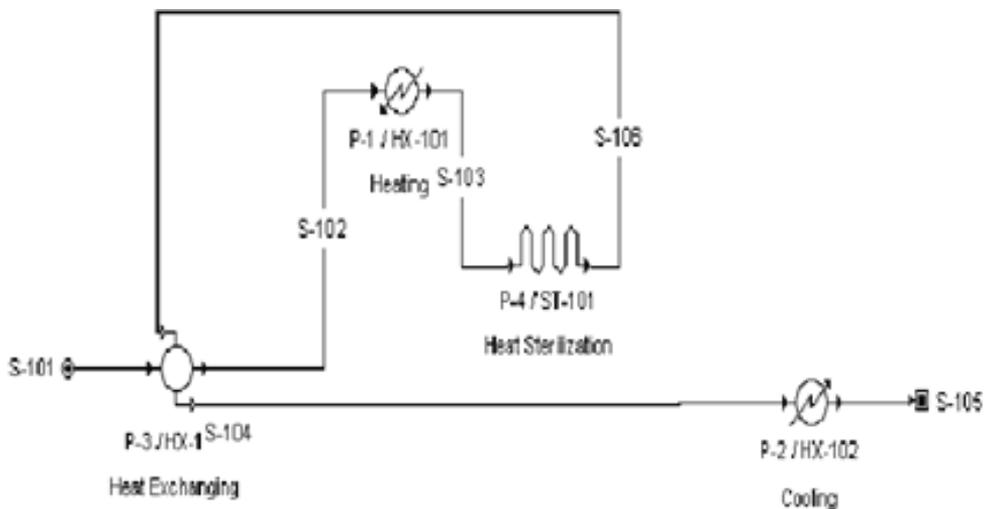
ΔT (°C)	I Fija. 10^3 (U\$S)	C Op. 10^3 (U\$S/Año)	CTA. 10^3 (U\$S/Año)	TIR (%)
5	262	68.873	68.919	27,27
10	189	68.880	68.913	27,58
20	160	68.915	68.943	27,11
25	156	68.935	68.935	26,80

Fuente: elaboración propia

En este caso la temperatura de pasteurización es de 84 grados centígrados, y se parte de 50 °C, abandonando el sistema el producto a 28°C. Cambian las condiciones y los equipos involucrados, lo que permite hacer un nuevo análisis a este tipo de problemas.

De nuevo, en este caso de estudio, la influencia de los costos operativos hace que sea insignificante la diferencia en costos totales y en la tasa de rentabilidad. De modo, que en este tipo de optimizaciones, cobra mucha importancia el criterio del punto o tecnología “pinch”, por sobre cualquier otra consideración.

Figura 3. Pasteurización de helado industrial



Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Intercambiadores de casco y tubos. Valor mínimo

ΔT (°C)	I Fija.10 ³ (U\$\$)	C. Op .10 ³ (U\$\$/Año)	CTA.10 ³ (U\$\$/Año)	TIR (%)
10	5.152	941	1.853	202,6
15	4.981	948	1.830	209,3
20	4.891	969	1.835	212,1

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Intercambiadores de placa, con una temperatura de entrada de 4 grados centígrados, horizonte de planificación de 5 años y un costo de capital de 12% en US \$

ΔT (°C)	I Fija.10 ³ (U\$\$)	C Op .10 ³ (U\$\$/Año)	CTA.10 ³ (U\$\$/Año)	TIR (%)
10	4.485	83.350	84.592,3	89,9
15	4.419	83.358	84.582	90,7
20	4.383	83.372	84.586	91

Fuente: elaboración propia

Por último, la Tabla N°3 nos muestra que para una temperatura inicial de 4°C, se encuentra un salto de temperatura mínimo distinto al caso similar ya tratado. El valor es de 15°C frente a los 10°C ya reportados. Se pone de manifiesto la importancia de los costos operativos, como en casi toda la discusión de este trabajo

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo ha servido el ejemplo elegido, y cotejado con casos simples y otra pasteurización típica, para mostrar la importancia de la tecnología “pinch” en instalaciones de gran porte, con muchos equipos involucrados.

Para los casos más representativos que se pueden encontrar en las industrias alimenticias, un análisis más convencional y riguroso como el costo total anual o la tasa de retorno (o ambos), posibilita la toma de decisiones con igual idoneidad, pudiendo ser más preciso para algunas aplicaciones.

El peso relativo de las inversiones en relación con los costos de operación es un “a priori” esencial para establecer una metodología de optimización; o más aún, para desechar un método complicado frente a una solución tomada con más sentido común ingenieril, que herramientas de optimización, en sus diferentes versiones.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo financiero para proyectos de investigación, otorgados por la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe Argentina, que permitieron realizar el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Douglas, J.M. (1985). A hierarchical decision Procedure for Process Synthesis. *AIChE Journal*, vol. 31, N° 3, 353-362
- Bon, J., Clemente, G., Vaquiro, H. and Mulet, A. (2010). Simulation and optimization of milk pasteurization processes using a general process simulator (ProSimPlus). *Computers and Chemical Engineering*, 34 , 414–420
- Linnhoff, B. and J.R. Flower (1978). Synthesis of heat exchanger networks, Systematic Generation of Energy Optimal Networks. *AIChE Journal.*, 24, 633.
- Linnhoff, B. and Turner, J.A. (1981). Heat-recovery networks: new insights yield big savings. *Chemical Engineering*, November 2, 56-70.