

Empleo del programa SuperPro Designer para la simulación del proceso de producción de salchichas

Meivelyn Real-Milián^{1, 2}, Guido Riera-González^{2*}, Luis Cruz-Viera²

1. Empresa Productora de Alimentos PRODAL

Calle 27 e Noviembre No. 9, Regla, La Habana, Cuba

2. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

Ave. 114, No. 11901 e/ 119 y 127, Marianao. La Habana, Cuba

*guido@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Introducción. Se evalúa la posibilidad de cambiar el tiempo de cocción en el proceso de elaboración de salchicha de pollo y buscar ahorro en el consumo de energía, el trabajo se desarrolló en la Empresa Productora de Alimentos, de Regla, PRODAL.

Objetivo. Simular el proceso de elaboración de la salchicha, con el empleo del simulador SuperPro Designer.

Materiales y Métodos. Se empleó el simulador SuperPro Designer V10. La simulación comprendió las cinco etapas del proceso: mezclado, emulsionado, cocción, enfriamiento y pasteurización. Se emplearon datos reales del proceso productivo.

Resultados y Discusión. Se evaluó el consumo de materias primas, servicios auxiliares y la capacidad productiva de la planta; asimismo, se realizó la caracterización técnico-económica del proceso y se evidencio una estrecha correspondencia entre los costos de producción e ingresos reales con los simulados por el programa. Como resultado de la evaluación de una alternativa tecnológica se propone, modificar el tiempo de cocción en el horno, lo que reportaría un ahorro 694 000 CUP.

Conclusiones. Se determinó que el horno limita el incremento de la capacidad productiva de la planta. La propuesta de un menor tiempo de cocción reportó una disminución en el costo de producción de 694 000 CUP/año.

Palabras claves: SuperPro Designer, simulación, producción de salchicha, costos de producción.

ABSTRACT

Introduction. The possibility of changing the cooking time in the chicken sausage production process and looking for savings in energy consumption is evaluated. The work was developed in the Food Production Company of Regla, PRODAL.

Objective. To simulate the sausage manufacturing process using the SuperPro Designer simulation program.

Materials and Methods. The SuperPro Designer V10 simulation program was used. The simulation was carried out in the five stages of the process: blended, emulsified, cooking, cooling and pasteurization. Real data of the productive process were used.

Results and discussion. The consumption of raw materials, auxiliary services and the productive capacity of the plant was evaluated. Likewise, the technical-economic characterization was carried out, showing a close correspondence between production costs and real income with those simulated by the program. As a result of the evaluation of a technological alternative, it is proposed, based on the simulation of the process,

to modify the cooking time in the oven, which would result in a saving of 694 000 pesos.

Conclusion. It was determined that the oven is the equipment whose capacity limits the increment of the productive capacity of the plant. The proposal of a smaller time of cooking diminishes the production cost of 694 000 CUP/year.

Keywords. SuperPro Designer, simulation, sausage production, production costs.

INTRODUCCIÓN

La simulación consiste en el estudio de un sistema, a través de un modelo, este se logra al establecer las conexiones entre un objeto de estudio del mundo real y una representación conceptual de ese objeto (1). La simulación constituye una potente herramienta en el trabajo de ingeniería, que permite estimar el comportamiento de los procesos ante cambios en los parámetros de operación y las características de las materias primas, entre otros aspectos, con una considerable disminución del tiempo necesario para el análisis. Su aplicación posibilita, por tanto, la comparación de alternativas, con el propósito de determinar la más prometedora, en función de los resultados que se obtengan tanto técnicos como económicos (2).

Uno de los simuladores más empleados en la actualidad para los procesos químicos es el Aspen-Hysys, el ChemCAD y el SuperPro Designer (3).

Las industrias alimentarias tienen una gran representatividad en el sector industrial, a nivel mundial, estas deben garantizar productos con la calidad requerida y a menor costo y enfrentan, en algunos casos, la variabilidad de la materia prima destinada a sus producciones; en este contexto, la salchicha alcanza elevados niveles de producción por su popularidad.

La salchicha es un embutido, con elevados niveles de consumo, elaborado a partir de carne molida o emulsionada y otros tejidos comestibles, con condimentos y aditivos permitidos (4). Para su elaboración se han empleado, con mayor frecuencia, las carnes de bovino, de cerdo y pollo, mezcladas o no (5).

El proceso de producción de salchichas consta de tres etapas fundamentales: mezclado de materias primas, horneado y pasteurización; estas, en general, son altas consumidoras de energía (6).

El simulador SuperPro Designer (7) ha sido empleado con buenos resultados en diferentes industrias químicas (2, 8). Este simulador se caracteriza por su versatilidad, por combinar diferentes operaciones unitarias, por disponer de un banco amplio de propiedades físicas, por ofrecer la posibilidad de exportar sus resultados a hojas de cálculo Excel; además de poseer una interfase amigable con el usuario (9, 10).

El objetivo del presente trabajo es simular el proceso de elaboración de salchichas, con el empleo del simulador SuperPro Designer.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo la simulación del proceso de producción de salchichas de pollo en la Empresa Productora de Alimentos PRODAL, con el simulador SuperPro Designer V10. La simulación comprendió las cinco etapas del proceso:

- **mezclado.** La operación se realiza en un mezclador (LASKA ME – 2000 SP, Austria), durante 16 min. En esta etapa se adicionan el agua, la materia prima cárnica y los insumos alimentarios, a una temperatura de -4 °C.
- **emulsionado.** La masa se transporta hacia el emulsionador (STEPHAN MCH – D 150 C, España), en el que se alcanza un tamaño de partícula de 0.35 a 0.50 mm. Esta operación dura 33 min.

- **cocción.** El horneado se lleva a cabo en tres hornos (ELLER MATIC-C 3003, Italia) con una capacidad de cuatro carros por horno. La cocción se realiza en cuatro etapas:
 1. enrojecimiento: la temperatura de la cámara se incrementa hasta 65 °C, con el empleo de aire caliente, durante 10 min.
 2. cocción: vapor saturado a 8 atm se pone en contacto directo con el producto, este se distribuye homogéneamente en el interior de la cámara e incrementa la temperatura hasta 74 °C. La duración de esta etapa es de 16 min, en la que el producto alcanza una temperatura entre 70 y 72 °C en su centro térmico.
 3. secado: con el empleo de aire caliente la cámara alcanza 65 °C y el producto 53 °C en su centro térmico.
 4. extracción: la temperatura del producto disminuye hasta 59.1 °C, mediante extractores para que, al ponerse en contacto con agua fría en la cámara de refrigeración, no pierda sus características texturales. La duración de esta etapa es de 2 min.
- **enfriamiento.** Al culminar esta etapa de cocción, los carros son trasladados hacia los enfriadores (ELLER MATIC-C 3002, Italia), que usan el agua como fluido de intercambio. La sección de enfriamiento consta de dos fases; la primera, en la que se realiza el duchado durante 10 min, con agua a temperatura ambiente y el producto alcanza 31.6 °C en su centro térmico; y, en la segunda, se realiza el duchado durante 22 min con agua fría a 2 °C, para que el producto logre una temperatura de 4 °C.
- **pasteurización.** Los paquetes sellados son transportados mediante una estera hacia el pasteurizador (ELLER E386 -13, Italia), para someterlos a un tratamiento térmico: calentamiento con agua caliente a 65 °C, durante 35 min, seguido de un enfriamiento con agua a 4 °C durante 50 min, para que el producto alcance una temperatura de aproximadamente 6 °C.

Se realiza la simulación del proceso de elaboración de la salchicha con el software SuperPro Designer V10. Una vez simulado y corrido el diagrama de flujo se evalúan la verificación y validación de los resultados obtenidos y, a su vez, se evalúan el consumo de materias primas y servicios auxiliares, además de la capacidad productiva de la planta. Se realizó, además, la caracterización técnico-económica, en la que se calcularon los costos de producción e ingresos reales con los simulados por el programa.

Como base de cálculo se tomaron 1 000 kg de formulación cárnica, con una composición de: 336 kg de MDM (33.6 %), 224 kg de pasta de soya (22.4 %), 249.5 kg de agua (24.95 %), 23 kg de harina de trigo (2.3 %), 166.50 kg de preparado de salchicha (16.65 %) y 1 kg de nitrato de sodio (0.10 %). La materia prima MDM de pollo correspondió a la marca Polskamp, procedente de Polonia. La composición de MDM, determinada por el laboratorio de la empresa, fue de: 15 % de proteínas, 19 % de grasas y 66 % de agua. El producto se embutió en tripas celulósicas, con un diámetro de llenado de 19 mm y un peso mínimo de 34 g por unidad.

Selección de las condiciones para la simulación

Para la simulación de las etapas de mezclado, emulsionado, cocción, enfriamiento y pasteurización se seleccionó el modo de operación a templa, debido a que estas operaciones se desarrollan por lotes. Una vez analizada toda la información y los requisitos necesarios se procedió a la simulación del proceso, con la metodología establecida por Armad (11).

Módulos seleccionados para la simulación del proceso

- Operación de mezclado: para mezclar las materias primas fundamentales y que se derive una sola corriente de salida, que será la masa mezclada.

- Transporte: para simular la etapa de enrojamiento y como este procedimiento se realiza con aire caliente se utiliza el ventilador (FAN) como transportador de gases.
- Intercambiador de calor (calentamiento): para simular la etapa de intercambio entre el intercambiador de calor y el aire que desprende el ventilador para luego, este aire caliente, ser utilizado en la etapa de enrojamiento de la salchicha.
- Intercambiador de calor: se utiliza dos veces en el proceso, la primera, para simular el intercambio de calor entre el aire caliente y la salchicha; y, la segunda, para el intercambio de calor entre el vapor directo y las salchichas; ambas etapas pertenecen a la etapa de cocción.
- Intercambiador de calor (enfriamiento): para simbolizar la etapa de enfriamiento de la salchicha, a pesar de que son dos fases de enfriamiento, solo se tuvo en cuenta un enfriador, ya que el dato que solicita el programa es la temperatura final de salida del producto y el tiempo total, por lo que las dos fases se simplificaron en un solo equipo.
- Intercambiador de calor (Pasteurizador): para simular la etapa de pasteurización del producto, en la que se toma, como agentes de calentamiento y enfriamiento, el vapor y el agua proveniente del enfriador y se introducen los datos de temperatura de ambos agentes y el tiempo de operación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de información conformado con el simulador. En este diagrama están representadas las etapas fundamentales del proceso tecnológico (mezclado, emulsionado, cocción, enfriamiento y pasteurización).

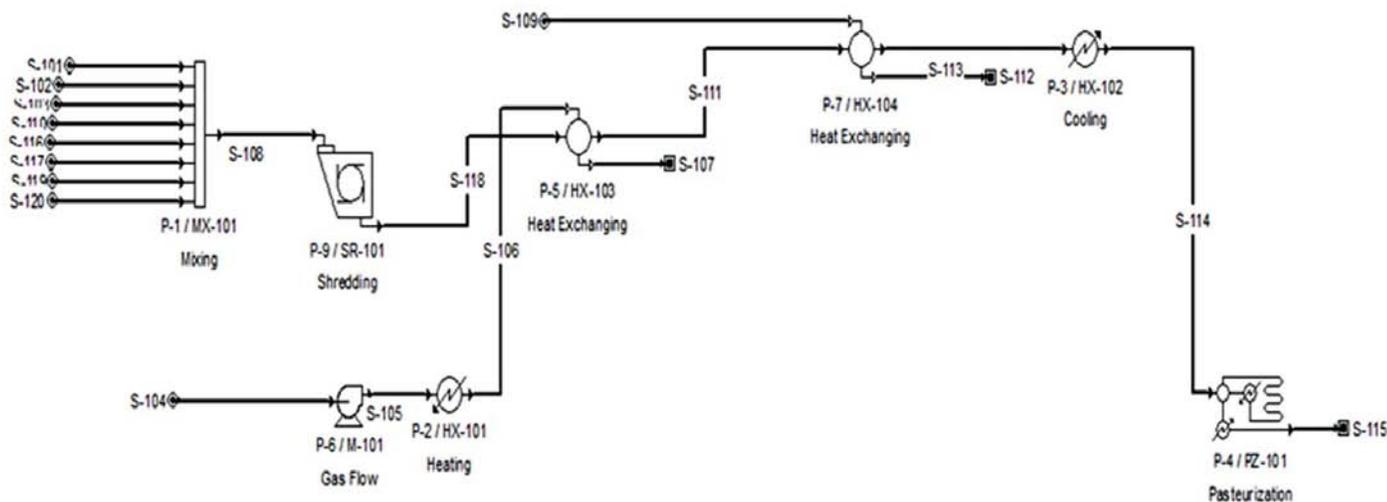


Figura 1. Diagrama de flujo de producción de salchicha.

En la tabla 1 se reportan los resultados más significativos de la simulación para los datos suministrados al simulador.

Tabla 1. Reporte general de la producción de salchicha según el simulador

Datos generales del proceso			
Tiempo anual de operación (días)	299.83	Tiempo de una templa (h)	4.67
Producción anual (kg)	1 480 320.00	Número de templeas por año	1 542.00
Materia prima por templa (kg)	960.00		

En la tabla 2 se muestra la relación de materias primas por templa y por año, según simulación, se toman como laborables 300 días.

Tabla 2. Reporte de consumo de materias primas según el simulador

Consumo de materias primas	kg/año	kg/templa	kg/kg de materia prima
Grasas	85 912	55.71	0.06
Harina de trigo	30 952	20.07	0.02
NaNO ₂	1 346	0.87	0
Pasta de soya	301 447	195.49	0.2
Preparado de salchicha	224 067	145.31	0.15
Proteínas	67 826	43.99	0.05
Agua	718 843	466 .18	0.49
TOTAL	4 493 242	2913.91	3.04

Estos resultados permiten conocer, a partir de la producción planificada para un año, cuánta materia prima será necesario emplear, el tiempo requerido para realizar la producción y en cuántas templas puede realizarse. El tiempo total de un ciclo obtenido mediante el programa (4.87 h) resulta muy similar al obtenido a partir de los cálculos reales (5 h), esta diferencia representa un error relativo de 2.6 %, que se considera pequeño y aceptable para emplear el simulador en cálculos de evaluación y pronóstico del proceso

A partir de la simulación se conoció, también, cuáles equipos se encontraban operando a su máxima capacidad, de manera que un incremento de la producción provocaría problemas de sobrecarga en el proceso y posibles interrupciones.

En el diagrama de la figura 2 se puede apreciar que el pasteurizador PZ-101 se encuentra operando a la mayor capacidad técnica. El diagrama también ilustra la distribución del trabajo en una jornada de 8 h.

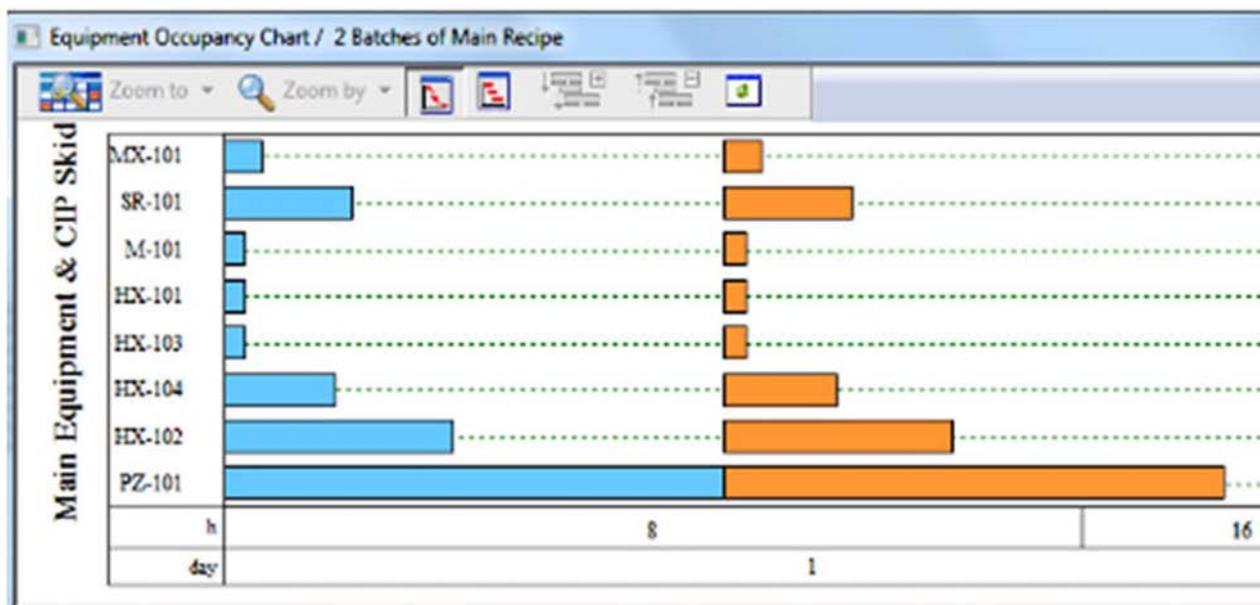


Figura 2. Utilización del equipamiento (lote múltiple).

En la tabla 3 se presenta el resumen económico para el caso base de la simulación.

Tabla 3. Resumen económico

EXECUTIVE SUMMARY			
Total capital investment	8625000.00 \$	Net unit production cost	48.88 \$/kg MP
Capital investment charged to this projet	8625000.00 \$	Unit production revenue	53.60 \$/kg MP
Operating cost	72354000.00 \$/yr	Gross marging	8.81 %
Revenues	79345000.00 \$/yr	Return on investment	50.23 %
Batch siza	960.00 kg MP	Payback time	1.99 years
Cost basis anual rate	1480320.00 kg MP/yr	IRR (after taxes)	30.70 %
Unit production cost	48.88 \$/kg MP	NPV (at 7,0% interest)	21050000.00 \$

Según la ficha técnica para la producción de salchichas, el costo de operación es de 49 156 CUP/t, por lo que para la producción anual obtenida (1480 t) por el programa, el costo total de producción es de 72 750 253 CUP, se presenta una diferencia de aproximadamente 396 253 CUP. El resultado obtenido mediante la simulación representa una diferencia de solo 0.54 % en defecto, con respecto a las condiciones reales.

Si se considera el precio de venta establecido en la ficha de costo de 53 600 CUP/t, de la empresa, los ingresos anuales ascienden a 79 328 000 CUP/año. Los ingresos estimados, a partir de la simulación, ascienden a 79 345 000 CUP/año, que representan una diferencia de 0.02 % en exceso, con relación a las condiciones de operación existentes.

Los resultados obtenidos demuestran la validez del programa para la simulación del proceso.

Cambios en parámetros de operación

Teniendo en cuenta la incidencia del tiempo de cocción sobre la calidad del producto y los costos de producción se investigó la variación de este parámetro de operación y se pasó de 16 min, valor actual, a 10 min. Ello permitiría estimar la masa de vapor requerida y su equivalente en combustible, para la nueva condición propuesta:

- enrojamiento: tiempo de 10 min y temperatura de 64 °C
- cocción. tiempo de 10 min y temperatura de 74 °C

Se recalcularon los consumos de vapor y combustible correspondientes y se obtuvo una disminución de 40 kg de vapor y 3 L de combustible en la cocción, respectivamente. Ambos valores pueden considerarse significativos para un año de operación, aunque con ese tiempo se logre alcanzar la temperatura requerida en el centro térmico del producto. Además, cuando el tiempo de cocción es mayor a la temperatura establecida, podría originar una sobrecocción del producto, lo que afectaría sus características sensoriales. Este resultado indica que es una mejor opción operar en la condición de 10 min de cocción que con 16 min, siempre que se cumplan los parámetros de calidad establecidos para el producto, por su efecto favorable sobre la economía del proceso.

Una vez determinada la masa de vapor para 10 min de cocción se procede en el programa a obtener el reporte económico correspondiente (tabla 4).

Tabla 4. Resumen ejecutivo económico para 10 minutos de cocción

EXECUTIVE SUMMARY			
Total capital investment	8556.00 \$	Net unit production cost	48.88 \$/kg MP
Capital investment charged to this projet	8556.00 \$	Unit production revenue	53.60 \$/kg MP
Operating cost	71 660 000 \$/yr	Gross marging	9.69 %
Revenues	79 345000 \$/yr	Return on investiment	55.50 %
Batch siza	960.00 kg MP	Payback time	1.80 years
Cost basis anual rate	1480.320 kg MP/yr	IRR (after taxes)	34.14 %
Unit production cost	48.88 \$/kg MP	NPV (at 7.0% interest)	24074.000 \$

Como se aprecia, con la variante propuesta se obtiene un ahorro de, aproximadamente, 694 000 CUP/año.

CONCLUSIONES

1. En las condiciones de operación actuales de la planta, el empleo del programa SuperPro Designer V10, para la simulación de las etapas del proceso de elaboración de salchichas de pollo, permitió verificar su validez, a partir de la comprobación de datos generales del proceso. Asimismo, se determinó el equipo cuya capacidad limita el incremento de la productividad de la planta.
2. El empleo del programa para investigar el posible cambio a un menor tiempo de cocción reportó una disminución en el costo de producción de 694 000 CUP/año.

REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS

1. Cortes, I., Simulación de procesos químicos y aplicaciones del simulador SuperPro Designer, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina, 2020.
2. Mino, V. Simulación de procesos químicos y aplicaciones del simulador SuperPro Designer 1^{ra} edición especial Posadas 83 p., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Misiones, Argentina.
3. Julián, M. C.; *et al.* Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto. *Afinidad*. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applie chemistry, vol.75no.581April 2019 *Afinidad*, Barcelona, 75 (581): 39 - 44.
4. Granados, C.; *et al.* Evaluación de salchichas elaboradas con carne roja de atún. *Meta*, ORINOQUIA, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. Vol. 17, No. 2, 2013.
5. Salas, M.P.G. Los procesos de producción en las industrias alimenticias del sector norte de la ciudad de Guayaquil y su incidencia en los costos de producción. 2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
6. Moya, G. M.; *et al.* Diseño de tratamientos de pasteurización de salchichas de pollo envasadas al vacío. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2017, Vol. 27, No.3.
7. Berkowits, D.E. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.
8. Almeida, A. Simulación del proceso fermentativo de la cerveza Tinima de 10° 70/30. [Trabajo de diploma] Universidad de Camagüey, Cuba, 2015.
9. Perez, I. Diseño de una planta de levadura torula utilizando la herramienta de software Superpro Designer. *Revista Cubana de Química*. 2006,18, 101-107.

10. Ribas, M.G. Metodología para la modelación matemática del proceso de fermentación alcohólica. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2012, 57, 104.
11. Armad, K.G. Efecto de la composición sobre las propiedades sensoriales y la estabilidad de una emulsión cárnica, en *Ingeniería de Alimentos* [Internet]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, 2016.