

EVALUACIÓN DE LA ETAPA DE COCCIÓN DEL JAMÓN COCIDO PRODUCIDO EN “EL MIÑO” EMPLEANDO HERRAMIENTAS DIGITALES

*Ailyn Caridad Texido-Paz^{*1,2}, Guido Riera-González², José Gandón-Hernández²*

¹Grupo de Calidad y Tecnología del OSDE Agroalimentario. La Habana, Cuba.

²Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. CP 19390, Cuba.

Email: atexidopaz@gmail.com

Recibido: 02-01-2026 / Revisado: 05-02-2026 / Aceptado: 21-02-2026 / Publicado: 03-04-2026

RESUMEN

En el presente trabajo se aplicó el método CAENTER para evaluar las variables de la etapa de cocción y se comprobó que el tiempo de operación necesario para la cocción del embutido es de 3 h a 84 °C. Empleando la simulación se evidenció que el horno se encuentra operando al máximo de su capacidad técnica. Para los cálculos estadísticos se hizo uso del programa *Statgraphics Centurion* donde se analizaron las temperaturas de operación e índices de consumos de materias primas reportados por el simulador con respecto a las variables medidas en el proceso, demostrándose en ambos casos que no existen diferencias estadísticamente significativas. Por lo que se concluyó que el programa mantiene un estrecho vínculo

respecto a las condiciones reales de la industria. El simulador permitió de manera simplificada conocer el estado técnico del equipo, facilitando el control de proceso y la prevención de fallas técnicas.

Palabras claves: CAENTER, embutido, simulación, *Statgraphics Centurion*.

ABSTRACT

Evaluation of the cooking stage of ham produced at “El MIÑO” through the use of digital tools.

In the present work, the CAENTER method was used to evaluate the variables for the cooking stage and was verified that the operating time necessary for cooking the sausage is 3h at 84 °C. Using the simulation, it was evident that the oven is

operating at the maximum of its technical capacity. For the statistical calculations, the Statgraphics Centurion program was used. The operating temperatures and raw material consumption rates reported by the simulator were analyzed with respect to the variables measured in the process. In both cases, it was demonstrating that there are no statistically significant differences. So, it was concluded that the program maintains a close link with real conditions of the process.

The simulator allowed for simplified knowledge of the equipment, facilitating process control and the prevention of technical failures.

Keywords: CAENTER, sausage, simulation, Statgraphics Centurion.

INTRODUCCIÓN

En el año 2016 ante la situación alimentaria a nivel global, el Ministerio de la Industria Alimentaria cubana, de conjunto con el Grupo Empresarial, se propusieron buscar alternativas con proyecciones estratégicas hasta el 2030 que permitieran enfrentar en aquel momento los desafíos del sector, manteniendo la competitividad industrial en un entorno de dependencia energética.

El estudio se desarrolló en la empaedora “El MIÑO”, ubicada en Ayestarán, municipio Cerro. Dentro del catálogo de productos se cuenta con: embutidos, ahumados, paqueterías, carnes y cortes especiales de res, cuya elaboración se encuentra sujeta a los planes de producción anual y la disponibilidad de materias primas. Actualmente la empresa trabaja en función de la reducción de pérdidas, la obtención de nuevos productos y la revisión tecnológica, encaminada a la optimización de sus producciones.

Por lo que, en el presente trabajo se pretende evaluar la etapa de horneado en la producción de embutidos tipo jamón cocido, empleando el simulador *Super Pro Designer V 9.1*.

La simulación es una herramienta que facilita el análisis y evaluación de procesos en una amplia gama de industrias, tales

como: farmacéutica, biotecnológica, alimentaria, tratamiento de agua, control de la contaminación atmosférica, entre otras (1).

Entre las diversas aplicaciones que tiene la simulación de procesos se encuentran (2) :

- Utilizar de forma más eficiente los recursos energéticos.
- Minimizar los costos de operación y la emisión de corrientes de residuales que pudieran ser contaminantes.
- Incrementar el rendimiento y la eficiencia del proceso.
- Mejorar el control del proceso.
- Impulsar la enseñanza del diseño de proceso.

Se emplea además, para conocer el comportamiento y evaluar la flexibilidad de los procesos bajo diferentes condiciones de operación, alimentaciones, materias primas, requerimiento de los productos, entre otras, que permitan alcanzar cantidades y calidades de productos con un rendimiento capaz de lograr la mayor eficiencia técnico-económica de la planta (3).

El objetivo del estudio fue evaluar mediante herramientas digitales la etapa de cocción del jamón cocido, de manera que su aplicación represente un procedimiento fehaciente para el control de proceso en la fábrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tratamiento térmico es un proceso tecnológico donde se relaciona fundamentalmente la temperatura y el tiempo de procesamiento, en la industria alimentaria su objetivo es evitar que se dañen los productos debido a la presencia de microorganismos, los cuales son susceptibles al efecto del calentamiento. La efectividad del procedimiento depende tanto de la temperatura como del tiempo necesario para alcanzar el valor letal requerido en su centro térmico (4). Para determinar si las condiciones actuales de operación garantizan que el embutido alcance los 72 °C en su centro térmico, este estudio empleó el CAENTER, método desarrollado por

investigadores de la Facultad de Química de la Universidad Tecnológica de la Habana (Cujae), como método aproximado para determinar experimentalmente el coeficiente de convección empleado para la cocción, el tiempo de operación y la temperatura que alcanza el centro térmico del producto (5). De manera que se establezcan durante la cocción.

Se asignaron las dimensiones del horno, el diámetro y longitud del embutido, así como las condiciones actuales de operación: temperatura del medio ($T_{\infty}=84\text{ }^{\circ}\text{C}$), temperatura inicial del producto ($T_i=10\text{ }^{\circ}\text{C}$) y tiempo de operación ($t=3\text{ h}$) y se repite el proceso hasta alcanzar los $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el interior del producto. Se estableció como parámetro operacional el valor de tiempo y temperatura que avalaba el menor error permisible para el caso de estudio, considerando estado no estacionario.

Se logró concluir que las variables de operación que garantizan la efectividad del tratamiento térmico son $T_{\infty} = 84\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $t_{\text{cocción}} = 3,5\text{ h}$.

Antes de comenzar la simulación de la etapa de horneado se identificaron los parámetros operacionales, modo de operación, los consumos de materiales y materias primas, las horas trabajadas al año, ciclos, cantidad de producto obtenido para cada formulación, cantidad de trabajadores asociados y salarios entre otros aspectos de interés.

Para la representación gráfica de la etapa de cocción del embutido, se empleó el *Super Pro Designer V 9.1*, partiendo de que se trata de un proceso discontinuo (*batch*), ya que la fábrica opera por lotes y se considera que un lote equivale a 1000 kg de producto.

Mediante la opción *Task/ Set Mode Operation*, se seleccionó el modo de operación discontinuo. Se consideró 288 días laborables al año con jornadas de trabajo de 6 h ya que en el horario de 11 am a 1 pm se paran las producciones para contribuir al ahorro energético en el horario pico.

Se registraron las materias primas fundamentales con sus respectivos precios para el cálculo económico, través de la opción *Task /Pure components/ Register*. En el caso del

MDM y la carne magra de cerdo fue preciso asociarle las características propias de las proteínas con sus respectivas cantidades. Las materias primas no cárnicas principales también fueron añadidas como componentes puros, en el caso de la maicena se le asociaron las características de la harina de trigo, teniendo en cuenta que su fórmula química es ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) (6) y su masa molar de 162,140 g/gmol.

Identificadas las operaciones unitarias se realizó la construcción del diagrama de flujo mediante la selección de los módulos y la introducción de los valores de las variables de operación. Para representar los módulos se eligió la opción de menú *Unit Procedures*. Se empleó un calentador para simbolizar el precalentamiento del horno, un intercambiador de calor de tubos y corazas para la cocción y para transportar el vapor se empleó el fan como módulo destinado al transporte de gases.

La Tabla 1, exhibe la distribución de módulos por etapas. Para inicializar las corrientes se agregaron los componentes de la alimentación, empleando la opción *Simulación Data* donde se especifican los valores de los parámetros en cada una, el flujo y las composiciones máxicas de cada componente, según la ficha técnica del producto y se clasificaron en cuanto a su función: entradas, salidas o intermedias.

Tabla 1. Distribución de módulos por etapas

Equipo	Etapas	Módulo
Horno	Precalentamiento	P-1/M101(FAN 1)
		P-2/HX-103(Calentador)
		P-3/HX-101 (Intercambiador de calor)
	Cocción	P-7/M-103(FAN 2)
		P-5/HX-102 (Intercambiador de calor)

Las condiciones de operación a cada equipo se suministraron presionando clip derecho sobre cada el módulo y seleccionando la opción *Operation Data*. Mediante

Tasks/Stream Classification se definieron las corrientes de entradas y salidas, especificando además si son materias primas, productos o emisiones. Además, se asoció el precio de las materias primas a partir de la información emitida por la empresa y finalmente el programa generó el reporte económico de la etapa evaluada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se confeccionó la representación gráfica de la etapa de cocción del jamón cocido, la cual se exhibe en la Figura 1. La misma cuenta con un total de 5 módulos y 10 corrientes en general. Para realizar la simulación se tomaron valores reales del proceso durante un mes de trabajo.

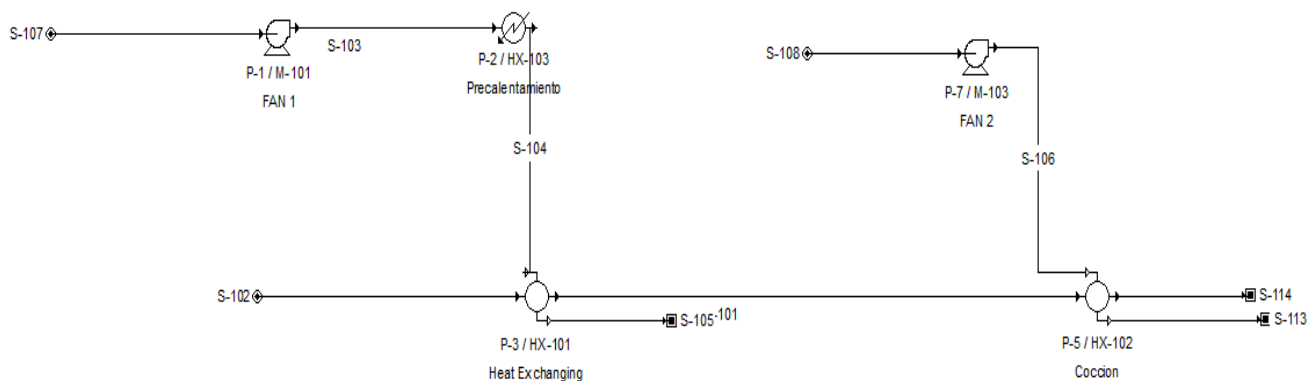


Fig. 1. Representación gráfica de la etapa de horneado

Se obtuvo tiempo de trabajo anual (288 días) para un total de 6 h laborables/días como se estableció al comenzar la simulación, así como el tamaño del lote (980 kg de materia prima) y la cantidad de lotes posibles realizar en un año de trabajo (1152), así como la productividad anual con un valor de 1 128 960 kg.

La Tabla 2, exhibe el balance de materiales del *Super Pro Designer*. Cabe resaltar que para el caso del balance de materiales por ficha técnica el total de materia procesada por batch es de 1002 kg y se obtienen 1000 kg de producto para 0,002 % de merma. Al ejecutar el balance de materiales, el programa considera al vapor para la cocción como otra corriente de agua de alimentación al proceso y el contenido de aire no es más que el nitrógeno y oxígeno que salen por defecto al añadir los componentes.

Tabla 2. Balance de materiales del *Super Pro Designer*

Consumo de materias primas	kg/batch	kg materia prima/kg Producto al año
Aire	38,860	0,040
Maicena	20,000	0,020
NaNO ₂	2,000	0,002
Preparado de jamón	36,000	0,037
Proteínas	520,000	0,531
Agua	339,950	0,345
MDM	180,000	0,184
Sal común	10,000	0,010
TOTAL	1146,810	1,170.

Basado en ello para el caso de estudio se determinó que se consumen 1 321,125 kg/año, incluyendo el contenido de aire (38,860 kg) y el vapor de agua proveniente de la caldera (154,07 kg), se puede decir que el consumo total de materias

primas por formulación es de 953,88 kg, para un 0,046 % de pérdida.

La Figura 2, exhibe el análisis de la carga técnica de los equipos. Con la opción *Equipament occupancy chart* se logró apreciar que el intercambiador que realiza la cocción del producto se encontraba trabajando a su mayor capacidad técnica por lo que es sumamente importante tomar acciones

que permitan aliviar la carga del horno. Pudiera dividirse la carga productiva entre los otros 2 hornos restantes, o planificar producciones que no requieran del mismo entre los lotes de jamón cocido, para así extender su tiempo de vida útil ya que una falla tecnológica del mismo podría propiciar un cuello de botella en las producciones.

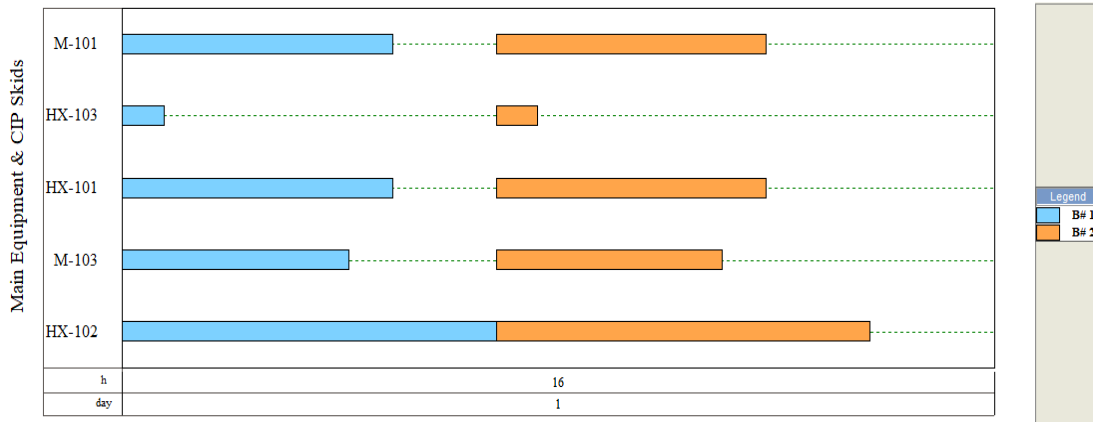


Fig. 2. Análisis de la carga técnica de los equipos

La Figura 3, muestra el reporte económico de la etapa de cocción. Según dicha información se puede definir que el costo de operación de la etapa de cocción reportado por el simulador es de 84 456 000 CUP/año, para un costo de producción de 74,81 CUP/kg de materia prima.

Analizando la ficha técnica del producto brindada por la empresa donde el costo de producción de 78,16 CUP/kg, se establece una comparación entre ambos costos de producción (simulado y real) resultado una diferencia de 3,41 CUP/kg con un error de 0,03 %. Teniendo en cuenta la producción anual y el precio de venta aportado por la empresa (94,18 CUP/kg) se determinaron los ingresos por venta con un valor de 106 325 000 CUP /año, para una diferencia no representativa de 453 CUP/año.

1. EXECUTIVE SUMMARY (2024 prices)

Total Capital Investment	10,215,000 \$
Capital Investment Charged to This Project	10,215,000 \$
Operating Cost	84,456,000 \$/yr
Net Operating Cost	84,456,421 \$/yr
Revenues	106,325,000 \$/yr
Cost Basis Annual Rate	1,128,960 kg MP/yr
Unit Production Cost	74.81 \$/kg MP
Net Unit Production Cost	74.81 \$/kg MP
Unit Production Revenue	94.18 \$/kg MP
Gross Margin	20.57 %
Return On Investment	129.73 %
Payback Time	0.77 years
IRR (After Taxes)	735.86 %
NPV (at 7.0% Interest)	107,663,000 \$

MP = Total Flow of Stream 'S-114'

Fig. 3. Reporte económico de la etapa de cocción

Finalmente se determinó que el costo de operación del jamón cocido en general es de 84 518 327 CUP/año teniendo en cuenta el costo de operación del horneado reportado por el simulador y el gasto de electricidad de la fábrica.

Evaluando la nueva condición de operación en el simulador, se comprobó que al aumentar el tiempo de cocción a 3,5 h aumenta los consumos de combustible y vapor, además de los gastos de salarios. En consecuencia, disminuyen la productividad y los ingresos por venta con una diferencia de

30 724 000 CUP/año, lo que representa el 29 %. Por lo antes expuesto, la propuesta no se considera económicamente factible y se recomienda mantener el tiempo de operación en 3h.

Para efectuar la validación se compararon los datos de la simulación, con datos reales de la fábrica, que fueron obtenidos del registro del área de cocción para 15 días de trabajo.

La Tabla 3, exhibe los resultados de la validación del modelo empleando la temperatura de operación.

Se realizó el análisis estadístico y la comparación de desviación estándar a los datos obtenidos empleando el programa *Statgraphics Centurion 19.1.2* para así evaluar la significación estadística de los resultados obtenidos por el simulador respecto las temperaturas de operación medidas durante la cocción. Para ello se procede al comando **Comparar/DosMuestras/Muestras independientes**. La

Tabla 4, exhibe dicho resumen estadístico.

Tabla 4. Resumen estadístico

	Temperatura real de la cocción (°C)	Temperatura del simulador (°C)
Promedio	84,248	87,653
Sesgo Estandarizado	1,515	-1,172
Curtosis estandarizada	-0,819	0,591

El sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, ambos valores de se encuentran dentro del rango esperado por lo que los datos corresponden a la distribución normal. Mientras que el análisis de varianzas presenta un intervalo de confianza que se extiende desde 0,143 hasta 1,277, al contener el valor de 1, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las desviaciones estándar de ambas muestras con un nivel de confianza del 95 %.

La prueba de hipótesis para el caso anterior arrojó un valor- $P = 0,0$ por lo que se rechaza la hipótesis nula referida a la similitud entre ambas variables, demostrando diferencias entre

las temperaturas de operación medidas y las del simulador, lo cual ratifica los resultados del método CAENTER.

La Tabla 5, exhibe los resultados de la validación del modelo empleando los índices de consumo. El programa realiza un balance de materiales global por cada componente, incluyendo el vapor de servicios auxiliares. Por lo que aumenta el error relativo respecto a dicho componente y por consiguiente el total.

Tabla 5. Validación del modelo empleando los índices de consumo

Materia prima	Real	Simulador	Error Relativo (%)
Aire	0,038	0,040	5,30
Maicena	0,020	0,020	0,00
NaNO ₂	0,002	0,002	0,00
Preparado de jamón	0,036	0,037	2,80
Proteínas	0,520	0,531	2,10
Agua	0,212	0,347	6,37
MDM	0,180	0,184	2,20
Sal común	0,010	0,010	0,00
Total	1,018	1,171	15,0

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $media1 = media2$

Hipótesis.: $media1 \neq media2$, suponiendo varianzas iguales: $t = -0,197$.

La Figura 4, exhibe el gráfico de la comparación de los índices de consumo de materias primas. Los intervalos de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,398 hasta 0,330. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95 %. Por lo cual se determinó que no existen diferencias significativas entre los resultados del simulador y los valores reales, demostrando la confiabilidad de la simulación, ya que existe un correcto ajuste del programa respecto a las condiciones reales.

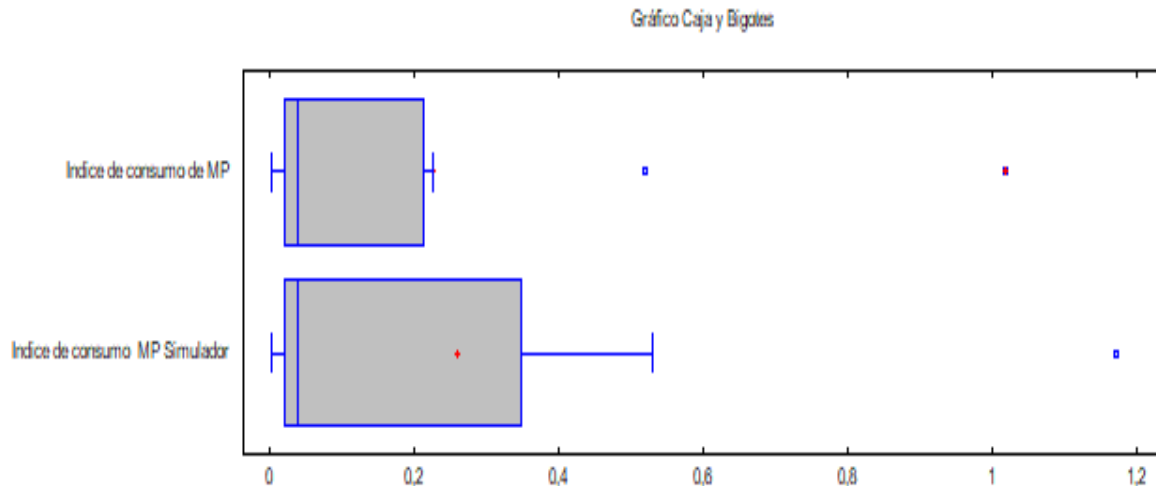


Fig. 4. Gráfico de la comparación de los índices de consumo de materias prima

CONCLUSIONES

Se estableció que las condiciones ideales de operación que garantizan que el producto alcance 72 °C en su centro térmico, es trabajar con un tiempo de cocción de 3 h en modo discontinuo a 84 °C. El coeficiente de convección libre del aire puede encontrarse de 170-185 W/m² K, siendo 180 W/m² K, el valor que responde al menor error permisible.

Se simuló la etapa de cocción del embutido con el simulador *Super Pro Designer V 9,1*, obteniéndose el diagrama de flujo, el número de *batches* y la productividad anual, el tiempo por cada *batch*, los balances de masa y los reportes económicos. El programa fue validado a través del *Statgraphic Centurion 19.1.2* demostrándose que no existe diferencias significativas entre los de índices de materias primas reales y los simulados. Se determinó que el costo de operación para la etapa de cocción es de 84 456 000 CUP al año para una productividad de 1 128 960 kg/año.

REFERENCIAS

1. Corona M. Simulación del proceso de horneado de salchichas en la empresa PRODAL. 2018 (tesis de pregrado), La Habana: Facultad de Ingeniería Química,

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba; 2018.

2. Super Pro Designer V 9.1. Simulación de procesos químicos y aplicaciones del simulador Super Pro Designer. Cuba; 2023.

3. Cedeño DQ. Análisis del proceso tecnológico de la Planta de Embutidos de la Empresa PRODAL (tesis de pregrado). La Habana: Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría; 2014.

4. Hernández JG. Empleo del método CAENTER en el estudio del tratamiento térmico de embutidos. La industria cárnica latinoamericana, 2011(172).

5. Hernández JG. Método aproximado para la estimación de la temperatura en el centro de un producto de configuración cilíndrica (tesis de pregrado). La Habana: Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría; 2009.

6. Milian MR. Empleo del Super Pro Designer para la Simulación del Proceso de Producción de Salchichas (tesis de pregrado). La Habana: Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría; 2014.