

Proposal for the automation of the artisanal cheese production process

Diego E. Fernández-Verástegui, Bach.¹, Yander Malca-Romero, Bach.¹, Carlos E. Monsefú-Álvarez, Bach.¹, Juan C. Romero-Palomino, Bach.¹, Melva J. Zavaleta Cadenillas, Bach.¹, Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, and Manuel E. Malpica-Rodríguez, Dr.¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

N00023023@upn.pe, N00027170@upn.pe, N00028564@upn.pe, N00032732@upn.pe, N00038075@upn.pe, daniel.perez@upn.pe / c25870@utp.edu.pe, manuel.malpica@upn.pe

Abstract— The present research aims to automate the artisan cheese production process with the ProModel software, to carry out our objective we develop a series of steps: first, we analyze the cheese process with its respective stations. Second, we did the data collection and its times to determine the simulation. Third, we design the automated model within the ProModel software to place each station in its proper place according to the order of the process and, finally, the simulation and analysis of the data. Once our cheese process has been simulated, as a result, we identify that in the pasteurization location there is a higher percentage of operation, that is, we find our bottleneck in this location, in such a way that our arrivals will be harmed. Through an investigation of the Berjucal cheese factory, the result was 10.5kg per day and compared with our simulation, 12kg was obtained, that is, there was a small improvement in production.

Keywords— ProModel software, simulation, production, processes, automated model.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Propuesta de automatización del proceso de producción de queso artesanal

Diego E. Fernández-Verástegui, Bach.¹, Yander Malca-Romero, Bach.¹, Carlos E. Monsefú-Álvarez, Bach.¹, Juan C. Romero-Palomino, Bach.¹, Melva J. Zavaleta Cadenillas, Bach.¹, Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, and Manuel E. Malpica-Rodríguez, Dr.¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

N00023023@upn.pe, N00027170@upn.pe, N00028564@upn.pe, N00032732@upn.pe, N00038075@upn.pe, daniel.perez@upn.pe / c25870@utp.edu.pe, manuel.malpica@upn.pe

Resumen– La presente investigación tiene como objetivo automatizar el proceso de producción del queso artesanal con el software ProModel, para llevar a cabo nuestro objetivo desarrollamos una serie de pasos: primero, analizamos el proceso del queso con sus respectivas estaciones. Segundo, hicimos la toma de datos y sus tiempos para determinar la simulación. Tercero, diseñamos el modelo automatizado dentro del software ProModel para colocar cada estación en su lugar correspondiente de acuerdo al orden del proceso y, por último, la simulación y el análisis de los datos. Una vez simulado nuestro proceso del queso como resultado identificamos que en la locación de pasteurización existe mayor porcentaje de operación es decir encontramos en esta locación nuestro cuello de botella, de tal manera que nuestros arribos se verán perjudicados. Mediante una investigación de la quesería Berjugal tenían como resultado de 10.5kg por día y comparamos con nuestra simulación se obtuvo de 12kg es decir hubo una pequeña mejora en la producción.

Palabras clave-- Software ProModel, simulación, producción, procesos, modelo automatizado.

I. INTRODUCCIÓN

En la simulación de procesos en los softwares empezaron su auge desde la cuarta generación cuando las velocidades y el costo comenzaron a tener una buena acogida para los gerentes de las industrias tales como es en el sector automotriz, alimentario, petroquímica, etc. En los años 1950 es cuando se aplican los primeros modelos para la programación lineal en el sector industrial de petroquímica que simularon la mezcla de aceites y gasolina.

La simulación es usada para representar sistemas productivos y así analizar el diagrama de flujo de estos procesos complejos. Por otro lado, para simular un proceso se necesita un programa que nos ayude a modelar adecuadamente los procesos de producción, por la importancia del software que permite ayudar a tener una mejor observación y uso adecuado de estrategias la mejor herramienta que se amolda a nuestras necesidades es el ProModel [1].

Según [2] la simulación de eventos discretos nos brinda la oportunidad de crear modelos utilizando softwares, que serán utilizados para hacer un análisis del sistema en diferentes escenarios, investigando los posibles cambios y sus consecuencias.

El ProModel es un programa de simulación bastante completa y de fácil uso que tiene la ventaja de que puede

funcionar en una computadora personal, con el sistema operativo de Windows. Esta herramienta cuenta con una interfaz bastante intuitiva que elimina la necesidad de programación, además facilita tener un buen diseño y un buen análisis del sistema de producción, este software fue creado con la finalidad de que sea una herramienta importante para los ingenieros y gerentes que desean reducir sus costos, mejorar su productividad y además lograr tener ventajas en la producción [3].

Según la investigación de [4] señala que sus resultados tanto para la compra de leche, queso pre madurado y queso madurado son replicados apropiadamente en el modelo de simulación de las que se basan en las medidas de tendencia central. Por otro lado, [5] según los resultados de su investigación considera como una buena opción desarrollar modelos computacionales de simulación para los procesos de producción de las plantas de lácteos.

Los autores de [6] encontraron que en el transporte hay demasiado tiempo invertido en comparación al tiempo de ciclo que hay en la producción del queso fresco, por lo que al corregir estos errores la empresa de lácteos San Luis estará más optimizada.

Una de las ventajas al usar la simulación es que se puede obtener un análisis de sensibilidad de los diferentes procesos de producción, ya que al cambiar algunos parámetros del proceso nos da como resultado el desempeño y el reflejo de la calidad del sistema simulado, esta herramienta ha ido cogiendo terreno en las empresas en los últimos años [7]. Por otro lado [8] considera como ventajas incluir preguntas de incertidumbre como ¿Qué pasaría si...?, también permite hacer experimentos en nuevas situaciones y por ende anticipar resultados.

Una de las empresas que mayor produce lácteos en México se ha dado cuenta que sus líneas de proceso tienen problemas de saturación. Estos problemas en la línea de producción han llevado a la posibilidad de construir o hacer un diseño de la estructura de la empresa, esto podría llegar a ser un costo considerable para la empresa, por lo que solucionar este problema es sin duda de gran importancia, para esto se desarrollará un modelo de simulación que permita hacer la evaluación del proceso [9].

[10] determinó que gracias al modelo integral permitió optimizar el proceso de producción del queso blando, esta

herramienta nos ayuda a elegir las mejores estrategias para la correcta simulación.

Los procesos son la parte principal en toda organización, que cuando tienen una óptima planeación logran tener éxito en los actuales mercados [11]. Si las empresas no hicieran esto tendrían bastantes dificultades que podrían llevar a la quiebra de sí misma, algunos ejemplos de estas dificultades se enfocan en que sus procesos no sean eficientes. La mayoría de las empresas que hacen uso de esta posibilidad fortifican el concepto de proceso en lo que hace tener muy claro el objetivo de satisfacer al cliente [12].

En [13] se encontró que el flujo de materiales y la mano de obra en la fábrica tienen dificultades por lo que hay pérdida de tiempo y costes de transporte causando que el diseño no se optimice, también hallaron que la planta no cuenta con los principios de lean manufacturing ni del Supply Chain por lo que la producción suele ser detenida por la escasez de materias primas. Por otro lado [14] en su proceso de simulación encontró que para producir el queso se demora 3:10 minutos y en una semana produce 876 unidades o sea 146 unidades de quesos diarias.

La alternativa para solucionar las dificultades logísticas en este campo se ha transformado en uno de los casos aplicativos con más importancia en el tema Industrial. Para esta investigación se seleccionó una simulación para desarrollar procesos de eventos discretos, por ser un método de apoyo que facilita la toma de decisiones para abarcar distintas fases de la logística de tal manera que se obtiene buenos resultados con poco presupuesto [15].

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar y analizar la capacidad de planta visto en un enfoque sistémico de un proceso industrial con el software ProModel de tal manera que veremos el adecuado funcionamiento y la importancia de trabajar con esta herramienta.

II. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo nuestra investigación se siguió la metodología mostrada en la Fig. 1 donde se aprecian los pasos en el siguiente orden: recolección y toma de datos, análisis del modelo de fabricación del queso artesanal, diseño del proceso de fabricación automatizado del queso en ProModel y finalmente simulación y análisis de datos.

En el contexto del proceso de manufactura de queso artesanal, se identificó una problemática relacionada con la ausencia de un sistema de seguimiento preciso de la cantidad de materias primas utilizadas en la producción. Esta carencia dificulta la determinación precisa de la cantidad de materia prima necesaria para la elaboración de un solo queso. Además de este desafío, también existe una falta de información acerca de la cantidad máxima de quesos que pueden ser fabricados en una jornada laboral estándar.

Motivados por estas incertidumbres, se optó por llevar a cabo una simulación utilizando el software ProModel. El propósito fundamental de esta simulación es abordar y resolver las interrogantes que han surgido en torno a la gestión del

proceso de producción. Al emplear esta herramienta de modelado, se busca obtener una comprensión más precisa y detallada de la interacción entre los diversos elementos del proceso, permitiendo así tomar decisiones informadas y efectivas para optimizar la producción de queso artesanal.

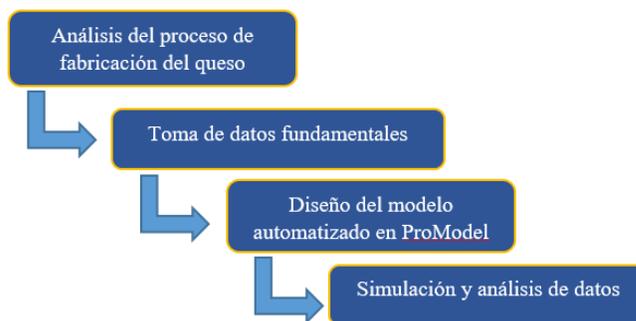


Fig. 1. Metodología.

1) Fabricación del queso artesanal.

Con el objetivo de llevar a cabo la automatización del proceso de producción de quesos, resulta esencial obtener un entendimiento profundo de su desarrollo en su forma más elemental. Para lograr este propósito, se procede a un análisis exhaustivo de las diferentes etapas involucradas en la fabricación del queso artesanal. A través de este análisis, es posible identificar las áreas funcionales que desempeñan un papel fundamental en el proceso. Estas áreas se convertirán en las estaciones de trabajo clave que se considerarán en la fase subsiguiente de automatización. En esencia, este enfoque garantiza que la automatización se construya sobre una base sólida y completa, reflejando de manera precisa todas las etapas y aspectos relevantes de la elaboración de queso artesanal.

En la mayoría de los procedimientos de fabricación de queso, la evaluación de la acidez se lleva a cabo utilizando un instrumento acidímetro. En este caso específico, se han realizado pruebas de capacidad de hilado con volúmenes reducidos de cuajada. Cuando el nivel de acidez alcanza un rango entre el 0.5% y 0.65%, la cuajada se encuentra en condiciones óptimas para el proceso de hilado.

La etapa de cuajado se lleva a cabo principalmente con el propósito de controlar el nivel de acidez presente, ya que esto tiene un impacto significativo en el sabor y la textura del queso final. La leche se agita y posteriormente se deja en reposo, lo que conduce a la formación de precipitados proteicos a una temperatura de 35 °C.

La masa cuajada se divide mediante el uso de una lira o cuchillos, con el fin primordial de facilitar la eliminación del suero. Un aspecto crucial aquí es que los cortes deben tener una estructura cuadrículada, y es esencial tener precaución para evitar la ruptura de los cuadrados formados.

En esta fase, se busca conferir la forma y tamaño necesarios según las características requeridas. Para esta finalidad, se emplearon moldes con forma circular.

La fase anterior culmina con el prensado de la masa, con el objetivo de darle la forma final deseada al queso en elaboración.

La presión ejercida y el tiempo de prensado varían en función del tamaño del queso, y se asigna un período de 15 minutos.

El salado no solo protege al queso contra microorganismos, sino que también añade sabor a la masa. Todos los bloques de queso se sumergen en un recipiente de agua salina durante un lapso de 10 minutos.

Los bloques de queso se colocan en rejillas con la finalidad de permitir que se escurra el exceso de agua salina. Esta fase se desarrolla durante un período de aproximadamente 2 días.

En esta etapa, es crucial contar con dispositivos especiales que controlen la temperatura y humedad adecuadas para la fabricación del queso artesanal. Se estima que este proceso de maduración lleva alrededor de 4 días para lograr el sabor deseado.

Al concluir el período de maduración, en la etapa final de envasado, se utiliza una bolsa plástica desinfectada para asegurar que la humedad no degrade el producto, garantizando así su calidad. La Figura 2 nos muestra el proceso que se sigue para la elaboración de un queso artesanal.

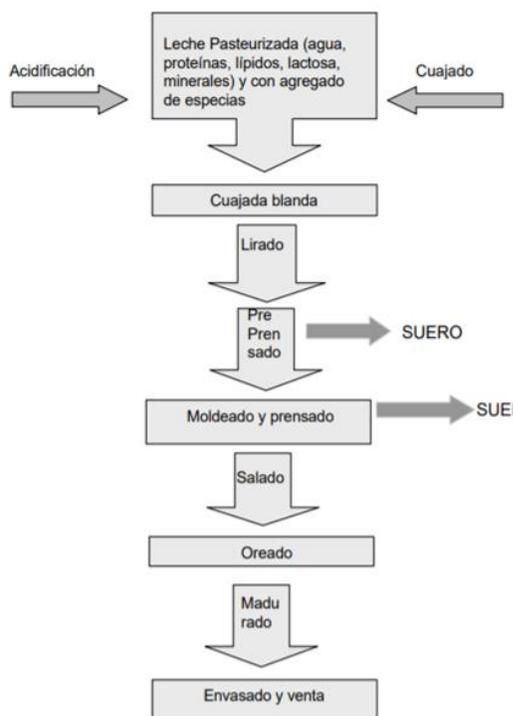


Fig. 2. Diagrama de flujo correspondiente a la elaboración del queso artesanal [16].

2) Toma de datos fundamentales.

Para comenzar, es fundamental definir las estaciones de trabajo que establecerán la base para el diseño de nuestro proceso. Estas estaciones se seleccionarán considerando investigaciones previas sobre métodos industrializados empleados en la fabricación de queso. Como resultado, se llevarán a cabo varios procedimientos distintos, cada uno

ejecutado en intervalos temporales diferentes. Este enfoque permitirá la construcción de un proceso completo y eficaz, basado en el conocimiento acumulado de la producción industrializada de queso.

El proceso de pasteurización y tratamiento de la leche es el punto de partida. Se da prioridad al tratamiento de la materia prima, donde la leche de entrada pasa primero por un tanque de control de pH. Luego, se dirige a un pasteurizador por lotes, donde se mantiene a una temperatura entre 62 °C como mínimo y 65 °C como máximo durante 30 minutos. Esta pasteurización asegura la eliminación de microorganismos y patógenos, estableciendo una base segura para la producción de queso.

La coagulación es un proceso central en la transformación de la leche. Se caracteriza por su pureza, sin la adición de aditivos. El cuajo se añade para iniciar la coagulación de la leche, transformándola de líquida a sólida. Este proceso toma 20 minutos, tiempo durante el cual la estructura de la leche experimenta cambios notables.

La etapa de cuajada y desuerado sigue a la coagulación. La cuajada es el resultado de la acción del cuajo, dando inicio a la formación de la masa de queso. Paralelamente, el desuerado elimina el suero en exceso, permitiendo el desarrollo de la textura característica del queso. Estas etapas ocupan un tiempo total de 10 minutos.

La etapa de moldeo implica colocar la masa de queso en moldes específicamente diseñados para eliminar el exceso de suero. Estos moldes confieren la forma y el tamaño deseados al producto final. El proceso de moldeo lleva 25 minutos, durante los cuales la masa se adapta a la forma preestablecida.

Tras el moldeo, viene el prensado. La masa de queso moldeada se introduce en una prensadora para lograr cohesión y firmeza. Esto da la forma definitiva al queso y lleva 15 minutos.

El proceso de salado involucra la formación de la corteza, seguida por la finalización del desuerado. Luego se agrega el componente de sabor que regula la actividad microbiana y afecta el gusto del queso. La cantidad de sal incorporada se mantiene en el rango de 17-18%. El proceso de salado se realiza durante 10 minutos.

La fase de maduración comienza al colocar los bloques de queso en estanterías específicas, donde reposan para adquirir la madurez adecuada. Sin embargo, antes de este proceso, es esencial controlar las condiciones de la cámara de maduración, incluyendo la temperatura, humedad, calidad del aire y prevención de la contaminación por hongos. La fase de maduración se extiende por un período estimado de 4 días, durante los cuales el queso desarrolla su sabor distintivo y características finales.

Las estaciones escogidas se muestran en la Figura 3, y los tiempos en la Tabla I.

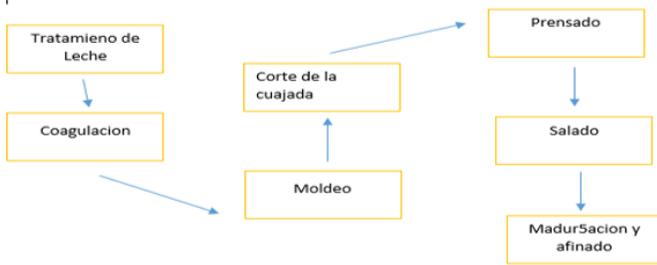


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de queso [17].

Asimismo, resultó imperativo llevar a cabo la medición y análisis exhaustivo de los lapsos temporales que influyen en las diversas estaciones de trabajo, especialmente aquellos intervalos que son significativos. Esta acción adquiere una relevancia fundamental al abordar la programación de nuestro modelo de simulación. Los tiempos capturados proporcionarán una base sólida para el diseño de un sistema que refleje de manera precisa y efectiva la secuencia de eventos en el proceso de producción de queso. Esta información detallada se convertirá en un elemento esencial para garantizar la optimización y el realismo en el proceso de simulación que estamos construyendo.

Estos tiempos se muestran en la Tabla 1.

TABLA I
TIEMPO DE LOS PROCESOS [18]

Proceso	Tiempo (minutos)
Pasteurización	30
Coagulación	20
Cuajado	10
Moldeado	25
Prensado	15
Salado	10
Maduración	4 días

3) Diseño del modelo en ProModel.

El modelo de automatización se construyó considerando las estaciones y los tiempos respectivos que habían sido detallados en secciones anteriores. Esto dio forma a una línea de producción completa que abarcaba todas las etapas del proceso de manera precisa.

En este proceso, se comenzó por identificar las estaciones de trabajo o locaciones, junto con sus tiempos operativos predefinidos. Las estaciones consideradas fueron: Recepción, Pasteurización, Zona de Enfriamiento, Adición de Calcio y Cuajado, Zona de Corte, Moldeado, Prensado, Salado, Empaquetado y las bandas transportadoras que movían el material entre las estaciones.

Dentro de este flujo de trabajo, varias entidades formaron parte del proceso de producción: Leche, Leche Pasteurizada, Leche Cuajada, Materia Moldeada, Producto Terminado (Queso) y Producto Empaquetado. Estas entidades

representaron los diferentes estados y transformaciones que la materia prima experimentó a lo largo del proceso.

En cuanto a los insumos, se consideraron tres arribos principales: Leche (como materia prima principal), Cuajo y Sal. Estos elementos desempeñaron un papel crucial en la producción y se incorporaron en momentos específicos del proceso.

La mano de obra también tuvo un papel importante en este sistema automatizado. Se contempló la participación de dos empleados, cada uno con tareas definidas. Uno transportaba la materia prima (leche) hasta la zona de pasteurización, mientras que el otro llevaba el producto terminado hasta la zona de empaquetado, donde se preparaba para su distribución comercial. Ambos empleados estaban programados en el simulador para seguir sus rutas de acción correspondientes.

El modelo de simulación basado en ProModel se presentó en la Figura 4, y su desarrollo permitió capturar de manera precisa y detallada cómo se ejecutaba cada etapa del proceso, cómo interactuaban las diferentes entidades y cómo las estaciones de trabajo estaban interconectadas. Esta herramienta de simulación resultó esencial para analizar la eficiencia, identificar cuellos de botella y optimizar el proceso de automatización en la fabricación de queso.



Fig. 4. Simulación Promodel.

Dentro de la estrategia global de programación del proceso, se empleó el comando "wait" para asignar los tiempos requeridos en cada una de las estaciones de trabajo. Además, en esta sección se llevaron a cabo las programaciones de los movimientos lógicos, que trazaban las rutas a seguir por los trabajadores involucrados en el proceso. Asimismo, se configuró la variable de "Productos finalizados", de modo que durante la simulación se visualizara un recuento constante de los productos que salían del proceso al finalizar cada ciclo de producción. Para lograr esto, se empleó el comando "inc", que representa un incremento, funcionando como un contador. Se programó este contador con un valor de 1, de manera que los productos se registraran uno por uno a medida que completaban su proceso de producción.

El modelo concebido en el software ProModel se exhibe en la Figura 5. A través de esta representación visual, se logra capturar la estructura y las interacciones del proceso de automatización en su totalidad. Cada una de las etapas, los tiempos de espera y los movimientos de los trabajadores se plasman en este modelo, lo que permite una apreciación integral y detallada del flujo de producción. Este modelo computacional resulta esencial para analizar la eficacia y la optimización del

proceso de automatización implementado en la fabricación de queso.

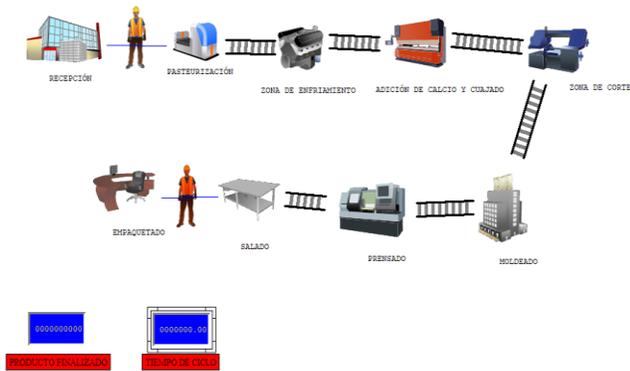


Fig. 5. Modelo de automatización en Promodel.

4) Simulación y análisis de datos.

Con el propósito de activar nuestro modelo, llevamos a cabo simulaciones que contemplaron un período de 8 horas por día en cada instancia. Mediante este enfoque, buscamos evaluar con precisión los resultados de nuestro modelo automatizado al utilizar los datos generados por el software ProModel. Esto permitiría establecer comparaciones entre la producción obtenida por nuestro modelo automatizado y el nivel de producción característico en la elaboración tradicional de quesos artesanales. El modelado detallado de los datos puede ser visualizado en la Figura 6.

La elección de un período de 8 horas por día en cada simulación fue tomada con el objetivo de emular una jornada laboral típica. Esta configuración nos brindó la oportunidad de examinar cómo se desarrollaba el proceso automatizado de producción de queso a lo largo de una jornada estándar. Al generar datos de producción bajo estas condiciones, pudimos obtener una perspectiva precisa de la eficacia y rendimiento de nuestro modelo automatizado en comparación con el enfoque artesanal.

Mediante la simulación en el software ProModel y el modelado de los datos, logramos una representación visual clara y detallada de cómo las diferentes etapas del proceso interactúan y contribuyen a la producción general. Esta metodología computacional resulta fundamental para evaluar las ventajas y desafíos de la automatización en el proceso de fabricación de queso, permitiendo un análisis informado y una toma de decisiones respaldada por datos concretos.

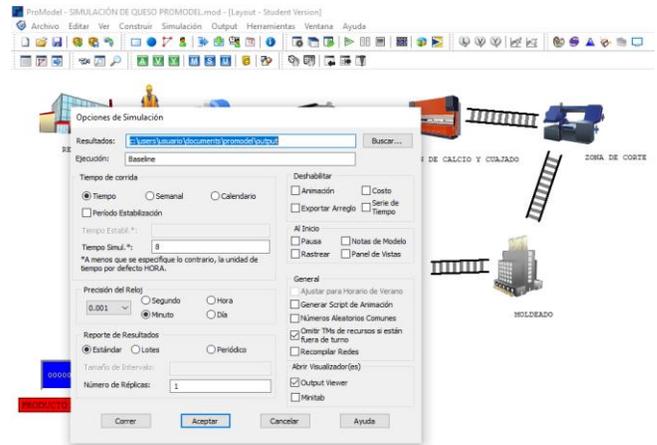


Fig. 6. Modelado de datos de la simulación en Promodel.

IV. RESULTADOS

Se llevó a cabo la ejecución de la simulación del modelo de automatización que habíamos propuesto, generando como resultado una serie de diagramas proporcionados por el software. Estos diagramas, que representan visualmente los datos y la dinámica del proceso, se presentan en detalle en la Figura 7.

A través de estas estadísticas y representaciones visuales, procederemos a un análisis exhaustivo del desenlace alcanzado por nuestro modelo propuesto. Iniciaremos este análisis focalizándonos en las locaciones de trabajo, las cuales se plasman con detalle en la Figura 8.

El estudio detallado de estas locaciones resulta esencial para evaluar cómo se desarrollaron las diferentes etapas del proceso automatizado de producción de queso. Al observar los diagramas resultantes, podemos profundizar en los patrones de flujo, los tiempos de operación y las interacciones entre las distintas partes del proceso. Esta información nos brindará una comprensión completa de la efectividad y la eficiencia de nuestro modelo propuesto, permitiéndonos realizar comparaciones con las prácticas tradicionales de elaboración de quesos y tomar decisiones basadas en datos sólidos y concretos.



Fig. 7. Estadísticas generales de simulación.



Fig. 8. Capacidad individual de las locaciones.

En este punto, se nos presenta la oportunidad de examinar el desglose porcentual del tiempo durante el cual las diferentes locaciones operan a lo largo del proceso, así como su inactividad y bloqueo. La figura previa nos ofrece una representación visual que revela este análisis detallado. Notamos con claridad que la estación de pasteurización presenta el porcentaje más alto de tiempo de operación. Esto indica que esta estación es propensa a generar colas significativas durante el proceso, estableciendo un cuello de botella. Este hallazgo también arroja luz sobre los bloqueos que se observan en la estación anterior, es decir, en la recepción. Esta correlación se debe a que el incremento de colas en pasteurización puede impactar adversamente los arribos en la recepción.

Para mitigar estas colas y optimizar la entrada de materia prima en la etapa de recepción, una posible solución podría consistir en la incorporación de una segunda máquina de pasteurización. Esta mejora en el modelo de automatización podría permitir una distribución más equilibrada de la carga de trabajo y, en consecuencia, reducir los cuellos de botella observados.

A continuación, nos adentraremos en el análisis de los resultados de la producción obtenidos a través de nuestro modelo. Para ello, exploraremos las estadísticas relacionadas con los productos terminados, que se presentan detalladamente en la Tabla 2. Estos datos nos proporcionarán una perspectiva precisa sobre el rendimiento y los resultados de nuestro modelo de automatización en términos de producción de productos finales.

TABLA II
CUADRO DE INDICADORES

Nombre	Total de salidas
Leche	0
Leche pasteurizada	0
Leche cuajada	0
Materia moldeada	0
Prod. terminado	0
Prod. empaquetado	12

Como se puede apreciar en un día laboral dentro del modelo de automatización se producen 12 unidades de queso de 1 Kg listos para su distribución.

Finalmente, para poder analizar el rendimiento de la producción del modelo de automatización, se compararon los datos de producción con el de otras investigaciones de producción de quesos artesanales, empezando por los datos mostrados en la Tabla 3

TABLA III
PRODUCCIÓN DE QUESOS EN LA QUESERÍA EL BEJUCAL [19].

Tipo de queso	Volumen de leche (L)	%	Total de queso obtenido (Kg)	% de la producción	Rendimiento (%)	Volumen de suero (aprox) (L)	Total de queso comercializados de manera directa (Kg)	Total de queso comercializado mediante distribuidor (Kg)
poro	700	64.2	63	58.8	9	637	23	40
hebra	200	18.3	22	20.5	11	178	22	0
crema	60	5.5	8	7.4	13.3	52	8	0
panela	50	4.6	6	5.6	12	44	6	0
cincho	80	7.5	8	7.4	10	72	8	0
Total	1090	100	107	100		983	67	40

En esta primera investigación tenemos el total de producción de quesos artesanales obtenidos en la quesería El Bejucal en México, teniendo que en el plazo de 6 días la mayor cantidad de producción es en el queso de tipo poro en el cual se producen 63 kg, lo que equivaldría a 10.5 kg por día, si lo comparamos con los 12 kg obtenidos en el modelo de automatización, obtenemos una pequeña mejora en la producción.

Para una segunda investigación a comparar tenemos los datos mostrados en la Tabla 4

TABLA IV
PRODUCCIÓN DE QUESERÍAS INFORMALES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO [20]

Sub-región	Kg/Mes	%
Sur del Atlántico	97.594	64%
Centro-Oriente	43.790	29%
Occidente	10.136	7%
TOTAL	151.520	100%

Como se puede apreciar en la Tabla IV, los datos de producción de quesos producidos de manera informal en un mes en el departamento del Atlántico en Colombia, fue de 151.52 kg de queso, lo que equivale a unos 7.57 kg de producción de quesos al día, lo que, comparados con los 12 kg obtenidos en el modelo de automatización, nuevamente se aprecia un aumento en la producción con respecto a quesos producidos de manera artesanal y que no cuentan con las herramientas de automatización necesarias.

IV. CONCLUSIONES

A través del análisis exhaustivo de los resultados obtenidos a partir de la simulación realizada con el software ProModel, se puede concluir que la planta de producción es capaz de generar un total de 12 quesos de 1 kg durante una jornada laboral de 8 horas. Estos resultados revelan una eficiencia destacada en el modelo propuesto. El proceso de pasteurización surge como un punto crítico en el flujo de producción, identificado como el cuello de botella que impacta en la capacidad global del

sistema. En vista de esto, se plantea la estrategia de implementar dos maquinarias de pasteurización con el fin de reducir los tiempos y mitigar los problemas de congestión.

El uso del software ProModel demostró ser un recurso altamente valioso en la simulación de procesos. La herramienta se presentó de manera eficaz y accesible, sin requerir programación extensa para ejecutar las simulaciones. La interfaz intuitiva facilitó la modelización y el análisis, permitiendo una representación fidedigna del proceso de automatización.

La automatización de los procesos de producción presenta ventajas significativas. Los tiempos de producción disminuyen drásticamente en comparación con los enfoques artesanales. Además, esta optimización conlleva una reducción en los costos de producción, lo que puede tener un impacto sustancial en la eficiencia y la rentabilidad del proceso. En consecuencia, la automatización se revela como una herramienta de gran valía para mejorar la eficiencia operativa y lograr una producción más competitiva.

Los resultados de la simulación respaldan la viabilidad y eficiencia del modelo propuesto de automatización en la producción de quesos. La implementación de estrategias para aliviar el cuello de botella en la etapa de pasteurización muestra un camino claro para mejorar aún más la eficiencia y el rendimiento del proceso. La aplicación del software ProModel facilitó la realización de simulaciones precisas y detalladas, ofreciendo una representación exacta del flujo de trabajo. La automatización se erige como una solución prometedora para mejorar la producción y la competitividad en la industria alimentaria.

Se recomienda abordar el cuello de botella en la etapa de pasteurización mediante la incorporación de dos maquinarias y ajustes de configuración periódicos para optimizar el flujo de producción. Se sugiere implementar sistemas de supervisión en tiempo real para monitorear tiempos y recursos, identificando y resolviendo problemas de manera proactiva. La adopción de tecnologías avanzadas, como sensores inteligentes y análisis de datos, puede potenciar la eficiencia y la precisión en las operaciones, contribuyendo a una mejora continua y a la obtención de productos de alta calidad a menor costo.

REFERENCIAS

- [1] R. García C, A. Eguía A, and G. Izaguirre C, "Uso de la herramienta de software Promodel como estrategia didáctica en el aprendizaje." <https://www.eumed.net/rev/tectzapic/2015/01/promodel.html> (accessed May 10, 2021).
- [2] J. V. Castrillón, "LA SIMULACIÓN DE PROCESOS, CLAVE EN LA TOMA DE DECISIONES.," 2018.
- [3] D. Gallardo S et al., "Diagnóstico De Un proceso industrial aplicando La simulación," 2015.
- [4] Márquez Renny and Ramirez Vicente, "Un modelo de simulación de la Producción de quesos madurados," 2019.
- [5] I. M. Camejo, G. L. A. Sailema, J. A. M. Verdecia, A. W. Álvarez Olivo, and K. M. G. Carrillo, "Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio: Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH," *Revista Publicando*, vol. 4, no. 13 (3), pp. 248–265, Dec. 2017.
- [6] D. D. Morillo C, "OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN LA PRODUCCIÓN DE QUESOS DE LA INDUSTRIA LÁCTEOS SAN LUIS," 2018.
- [7] M. A. Guerrero Hernández and A. F. Henriques Librantz, "Discrete event simulation of the commodities' supply chain exportation," *Ingeniería*, 2014, doi: 10.4067/s0718-33052014000200011.
- [8] J. R. Cantú G, M. del C. Guardado G, and J. L. Balderas H, "Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional," 2016.
- [9] I. S. Marmolejo and J. M. Marín, "ProModel: Una Herramienta Alternativa al Evaluar el Rendimiento de la Actividad Industrial," *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, pp. 232–250, 2016, doi: 10.13084/2175-8018.v05n10a17.
- [10] A. De Cicco, E. De Gentili, and J. F. Santucci, "Modelado y simulación aplicados a la tradición del queso," 2006 1st International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, ISEIM, pp. 492–497, Jul. 2016, doi: 10.1109/ISEIMA.2006.344995.
- [11] L. A. Medina, R. D. Nogueira, N. A. Hernández, and N. Y. Díaz, "Consideraciones y criterios para la selección de procesos para la mejora," 2016.
- [12] A. Giner and V. M. Ripoll, "Análisis de la gestión por procesos y por competencias a través de la perspectiva de procesos y de aprendizaje y crecimiento," 2016.
- [13] Khaled M and Shi Dongyan, "Diary Factory Modeling, Simulation and Layout Assessment and Improvement".
- [14] J. D. Fernandez and B. Angel, "Optimization Model for the Dairy Sector," 2016.
- [15] L. Quiñones and C. Duque, "La simulación de eventos discretos como técnica fundamental en la toma de decisiones de alto impacto," 2015.
- [16] V. P. Peralta, R. G. S. Simbaña, F. E. Rodríguez, T. S. Herrera, M. G. Cabrera, and I. F. Mancheno, "Diseño e Implementación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la 'Planta de Lácteos El Belén,'" *European Scientific Journal ESJ*, vol. 15, no. 15, May 2019, doi: 10.19044/esj.2019.v15n15p293.
- [17] R. B. Ramos S and A. R. Peréz C, "Automatización del proceso de elaboración de queso fresco semiblando entero de la empresa El Campesino," 2018.
- [18] M. Carlos and J. Vega Cuaical, "DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS' PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN," 2017.
- [19] J. Francisco et al., "Análisis de Costos en la Producción de Quesos Artesanales. Estudio de Caso: Quesería el Bejucal," *Periodicidad: Semestral*, vol. 5, 2019, doi: 10.5377/ribcc.v5i10.8969.
- [20] R. Quintero, L. Berdugo, and R. Simancas, "Productividad y rentabilidad de las queserías informales en las subregiones queseras del Departamento del Atlántico," *Producción + Limpia*, vol. 12, no. 1, pp. 97–103, Jun. 2017, doi: 10.22507/pml.v12n1a10.