



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio: Proceso de
producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

**Iván Menes Camejo¹, Gladys Lorena Aguirre Sailema², Jorge Ariel Menéndez
Verdecia³, Alonso Washington Álvarez Olivo⁴, Katherine Maribel Gallegos
Carrillo⁵**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, imenes@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, gaguirre@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, jmenendez@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, aalvarez@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, kgallegos@esepoch.edu.ec

RESUMEN

La simulación es una poderosa técnica para la resolución de problemas al imitar el comportamiento de los sistemas del mundo real, por lo que es aplicable a un sinnúmero de campos como la estadística, la economía, la física, o la industria en donde principalmente se aplica en el desarrollo de un proyecto científico orientado a la optimización de los procesos de producción de una línea de fábrica que requiere de un estudio profundo de los parámetros, variables, constantes, y procedimientos que intervienen en su funcionamiento. Este documento, presenta un estudio del proceso de producción de queso de la planta de lácteos FCP-ESPOCH (Facultad de Ciencias Pecuarias – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) a través de la teoría de colas, con el objetivo de generar un modelo de simulación computacional que represente lo más fielmente posible a los procesos de producción de la planta y se convierta en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones y experimentación de los elementos del sistema. Para ello, se ha seguido una metodología que orienta la realización de los siguientes pasos: formulación del problema; recolección de datos y análisis; identificación de los modelos matemáticos; desarrollo del modelo computacional de simulación; y validación del modelo de simulación. Los resultados del análisis de las variables: recepción diaria de leche cruda (entrada), y producción diaria de queso (salida) arrojaron que: el modelo de simulación computacional es válido para la experimentación sobre el proceso de producción de queso de la planta de lácteos FCP-ESPOCH.



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

Palabras claves: Simulación, planta de lácteos, proceso de producción, modelos computacionales, experimentación



Computational simulation of production processes, case study: Process of cheese production in the dairy plant FCP-ESPOCH

ABSTRACT

Simulation is a powerful technique for solving problems by mimicking the behavior of real-world systems, so it is applicable to many fields such as statistics, economics, physics, or industry where it is mainly applied in the development of a scientific project oriented to the optimization of the production processes of a factory line that requires an in-depth study of the parameters, variables, constants, and procedures involved in its operation. This paper presents a study of cheese production process at the dairy plant FCP-ESPOCH (Faculty of Animal Sciences - Polytechnic Higher School of Chimborazo) through the theory of tails, with the purpose to generate a model of computational simulation which represents as closely as possible the production processes of the plant and becomes a tool to support the decision-making and experimentation of the elements of the system. For this purpose, a methodology has been followed which guides the following steps: formulation of the problem; data collection and analysis; identification of the mathematical models; development of the simulation model; and validation of the simulation model. The results of the analysis of the variables: daily receipt of raw milk (input), and daily production of cheese (output) showed that: the computational simulation model is valid for experimentation on the cheese production process of the dairy plant FCP-ESPOCH.

Keywords: Simulation, dairy plant, production process, computational models, experimentation.



1. INTRODUCCIÓN

La Simulación ha crecido como una metodología de experimentación fundamental en campos tan diversos como la economía, la estadística, la informática o la física, y con enormes aplicaciones industriales y comerciales, como los simuladores de vuelo, los juegos de simulación, o la predicción bursátil o la optimización de procesos industriales. Sus orígenes están en la teoría de muestreo estadístico y análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos (Pazos, Andrés, & Rebeca, 2003), siendo que uno de sus principales objetivos está orientado a la optimización de los procesos de producción de una línea de fábrica y comercialización de sus productos (Fishman, 1973). La simulación consiste básicamente en construir modelos informáticos que describen la parte esencial del comportamiento de un sistema de interés, así como en diseñar y realizar experimentos con el modelo y extraer conclusiones de sus resultados para apoyar la toma de decisiones (Naylor, Balinffy, Burdick, & Chu, 1966).

Arena es un software de simulación perteneciente a la Empresa Rockwell Automation que utilizando la animación nos permite realizar procesos de simulación de sistemas de manufactura y de servicio o atención al cliente (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2002) (Rockwell Automation, s.f.). Actualmente se encuentra en la versión 12.0 y los programas se implementan utilizando el lenguaje Siman. Siman (SIMulation ANalisis), el cual es un lenguaje de simulación basado en el FORTRAN se apoya en los desarrollos previos del GPSS (General Purpose Simulation System) y el GASP (General Application Simulation Program) (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2002). Siman como lenguaje es capaz de modelar procesos combinados discreto continuos, y posee un conjunto de facilidades que lo hacen particularmente útil en la modelación de sistemas de producción, especialmente cuando los mismos contienen componentes importantes referidos al manejo de materiales (Pegden, 1984). La estructura de los modelos en Siman está basada en un enfoque teórico conceptual el cual hace una distinción fundamental entre dos componentes del modelo de simulación: el modelo del sistema y el modelo del experimento (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2002).

Un sistema se define como una colección de entidades (por ejemplo, personas, máquinas, productos, pedidos, etc.) que actúan e interactúan juntas para lograr un fin común (Fishman, 1973). Se llama entidad a un objeto de interés dentro del sistema; atributo es



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

una característica o propiedad de una entidad; actividad es un proceso con determinada duración o proceso que implique cambios con una duración dentro del sistema; evento es un inicio o fin de una actividad del sistema y estado del sistema es la descripción de las entidades, atributos, actividades según su existencia en algún punto del tiempo (Guasch, Piera, Casanovas, & Figueras, 2002) (Glover, April, Kelly, & Laguna, 2003). Se puede definir el estado de un sistema con un conjunto de variables necesarias para describir el sistema en un punto particular de tiempo, relativo a los objetivos del estudio (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2001).

Por modelo se entiende la representación de un sistema, desarrollado con el propósito de estudiar dicho sistema (Gordon, 1969). Los modelos deben contener sólo los aspectos esenciales del sistema real que representan (Fishman, 1973). Aquellos aspectos del sistema que no contribuyen significativamente en su comportamiento no se deben incluir, ya que lo que harían sería oscurecer las relaciones entre las entradas y las salidas (Feller, 1968).

De todos los conceptos tratados con las técnicas básicas de investigación operacional, la teoría de colas aparece como la de mayor aplicación potencial y sin embargo es quizás la más difícil de aplicar (Menes, 2007). Las colas o líneas de espera están presentes en la mayoría de las esferas de la actividad diaria y ocurren siempre que la demanda para recibir un servicio exceda la capacidad existente para brindarlo (Morse, 2004). Es por esta razón que frecuentemente hay que tomar decisiones sobre la capacidad necesaria para brindar un servicio y, dado que es generalmente imposible determinar con precisión cuando arribarán las unidades para solicitar el servicio y cuánto tiempo se requerirá para proveerlo; estas decisiones, en la mayoría de los casos, se vuelven difíciles (Pazos, Andrés, & Rebeca, 2003) (Saaty, Elements of Queueing Theory, 1961). El objetivo principal de analizar estos tipos de sistemas es el de optimizar su funcionamiento, encontrando su máximo rendimiento y así obtener un balance económico entre el costo del servicio y el costo asociado con la espera para recibir ese servicio (Jun Son & A Wysk, 2001). La modelación económica-matemática no resuelve directamente este problema, sin embargo, brinda información que permite simular los diferentes escenarios y así concluir en la mejor alternativa para solucionar este tipo de fenómenos (Gordon, 1969). Por su parte, la planta de lácteos FCP-ESPOCH, es una unidad de producción perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias (FCP) de la Escuela Superior



Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio: Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

Politécnica de Chimborazo (ESPOCH); se encuentra ubicada en la estación experimental de Tunshi e inicia su funcionamiento por el año 2000 con una donación de equipos de pasteurización mediante el convenio ESPOCH - Embajada del Japón. Por ser una unidad de producción, uno de los objetivos que persigue la planta de lácteos FCP-ESPOCH es el generar recursos económicos autofinanciados para la ESPOCH, con la producción y comercialización de sus productos lácteos, entre los cuales se encuentran principalmente los siguientes: leche en funda y queso.

Este estudio se centra en el desarrollo de un modelo computacional de simulación del proceso de producción de queso de la planta de lácteos FCP-ESPOCH con base en una identificación de las entidades y sus atributos guiado por la teoría de colas; con el objetivo de obtener una herramienta de experimentación computacional que represente el proceso de producción de queso y permita a los directivos analizar diferentes escenarios para la mejora de la producción y rentabilidad de la planta, sin la necesidad de recurrir a gastos y modificaciones dentro de la misma.

2. METODOS

El modelo de simulación del proceso de producción de queso de la planta de lácteos FCP-ESPOCH, fue desarrollado bajo la metodología que recoge los siguientes pasos:

- Formulación del problema
- Recolección de datos y análisis
- Identificación de los modelos matemáticos
- Desarrollo del modelo computacional de simulación
- Validación del modelo de simulación

2.1. Formulación del problema

La planta de lácteos FCP-ESPOCH tiene como objetivo generar recursos económicos autofinanciados para la ESPOCH, con la producción y comercialización de sus productos lácteos, entre los cuales se encuentran principalmente los siguientes: leche en funda y queso. Para lograr ser una planta rentable es necesario optimizar al máximo sus procesos de producción y comercialización; sin embargo, el proponer alternativas dentro de la planta implicaría costos y/o interrupción de la actividad diaria, con lo que se ve afectada la rentabilidad. Bajo esta premisa, se plantea un modelo computacional de simulación del proceso de producción de queso que represente el funcionamiento de la planta y permita posteriormente la experimentación sobre diferentes escenarios dentro de la planta. Para



ello es necesario conocer el funcionamiento de la planta durante el proceso de producción de queso.

El proceso de producción de queso es un sistema cuya materia prima principal es la leche cruda que ingresa a la planta, que después del procesamiento interno resulta en el producto listo para la venta al público. Este proceso de producción se describe en la Figura 1. Diagrama de los pasos que rigen el proceso de producción del queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH.

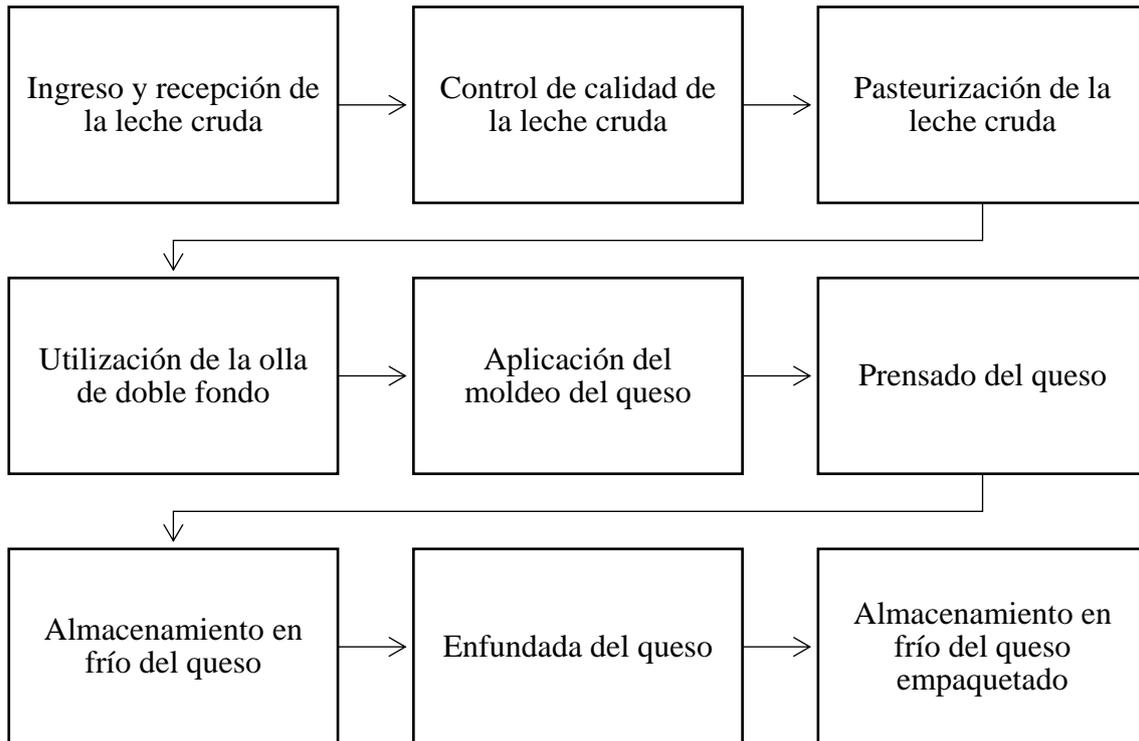


Figura 1. Diagrama de los pasos que rigen el proceso de producción del queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH.

A continuación, se realiza un análisis del proceso para identificar los atributos y entidades de las actividades detectadas del sistema de producción de queso.

2.2. Recolección de datos y análisis

El análisis y recolección de datos implica un estudio de las actividades detectadas dentro del sistema, para identificar los atributos y entidades implicados. Por ser los procesos de producción de queso sistemas de servicio, se identificaron las variables según la nomenclatura adoptada de análisis en la teoría de colas.

Las tablas Tabla 1.

Variables aleatorias exógenas., y



Tabla 2.

VARIABLES DETERMINISTAS ENDÓGENAS., recogen la información de las variables detectadas y su respectivo análisis.

Tabla 1.

VARIABLES ALEATORIAS EXÓGENAS.

Variable	Descripción	Distribución	Análisis
λ_{LC}	Cantidad diaria de litros de leche cruda que recibe la planta de lácteos FCP-ESPOCH	Normal	Media: 477 litros por día Desviación estándar: 92,5 litros por día Error cuadrado: 0,003000

Tabla 2.

VARIABLES DETERMINISTAS ENDÓGENAS.

Variable	Descripción	Valor
λ_{LCQ}	Cantidad diaria de litros de leche cruda que se utilizan para la fabricación de queso. Según datos históricos, aproximadamente el 44,18% de la leche cruda que se recibe diariamente se utiliza para la fabricación de quesos	$0,4418 * \lambda_{LC}$
C_{TRLC}	Capacidad (en litros) del tanque de recepción de leche cruda	3000 litros
C_{TB}	Capacidad (en litros) del tanque de balance	80 litros
μ_P	Capacidad (en litros / hora) de atención de la pasteurizadora	1000 litros/hora
μ_H	Capacidad (en litros / hora) de atención del homogeneizador	1000 litros/hora
C_{TRLP}	Capacidad (en litros) del tanque de recepción de leche pasteurizada	2000 litros
λ_{LPQ}	Cantidad de litros de leche pasteurizada que se utiliza en la elaboración de queso	$0,999 * \lambda_{LCQ}$
C_{OQ}	Capacidad (en litros) de las ollas doble fondo	500 litros



T_{OQ}	Tiempo de uso de las ollas de doble fondo para la elaboración del queso	3 horas
T_{MQ}	Tiempo destinado para el moldeo	0,25 horas
T_{PQ}	Tiempo destinado para el prensado	0,25 horas
T_{FQ}	Tiempo de almacenamiento al frío. (Las unidades de queso después del prensado se almacenan en el frío hasta el día siguiente)	
T_{EQ}	Tiempo de empaquetamiento de las unidades de queso	10 segundos /queso
C_{LPQ}	Cantidad de litros de leche pasteurizada que se utiliza en la elaboración de una unidad de queso. Por datos históricos se tiene que cada queso se produce aproximadamente con 4,4908 litros de leche pasteurizada	4,4908 litros /queso
P_{UQ}	Cantidad diaria de unidades de quesos que se produce en la planta	$P_{UQ} = \lambda_{LPQ} / C_{LPQ}$

No se detectaron variables deterministas exógenas, ni aleatorias endógenas, para el proceso de producción de queso.

2.3. Identificación de los modelos matemáticos

Para la identificación de los modelos matemáticos se aplicó la teoría de colas y se tomaron en cuenta las variables descritas del problema y el análisis de los datos realizados en cada estación del proceso de producción de queso.

Dentro del sistema producción de queso, los subsistemas encontrados son los siguientes: Pasteurización de la leche; Utilización de olla doble fondo; Moldeo y prensado; y, Empaquetamiento del queso.

A continuación, se incluye la descripción matemática basada en la teoría de colas, de cada uno de los subsistemas determinados.

Pasteurización de la leche: es un sistema de servicio que se representa según una cola infinita y canal único. Las entidades están representadas por los litros diarios de leche cruda que arriba a la planta. Según datos históricos se considera al arribo de leche cruda un proceso estocástico de distribución normal con media de 477 litros/día, sin embargo,



se considerará esta media para representar la tasa de llegada representada en un proceso Poisson.

Notación de Kendall: M/M/1: ∞ , FIFO

Parámetros: $M \rightarrow \infty$; $k = 1$; $\lambda_{LC} = 477 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $\lambda_{LCF} = 0,4418 * \lambda_{LC} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $\lambda = \lambda_{LCF} = 0,4418 * \lambda_{LC} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $\mu_p = 1000 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$; $\mu = 4\mu_p = 4000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$

Utilización de ollas de doble fondo: es un sistema de servicio que se representa según una cola infinita y canal múltiple. Las entidades están representadas por los litros diarios de leche pasteurizada.

Notación de Kendall: M/M/2: ∞ , FIFO

Parámetros: $M \rightarrow \infty$; $k = 2$; $\lambda_{LPQ} = 0,999 * \lambda_{LCQ} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $\lambda = \lambda_{LPQ} = 0,999 * \lambda_{LCQ} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $T_{OQ} = \frac{3 \text{ horas}}{500 \text{ litros}}$; $\mu = 500 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$

Moldeo y prensado: Es un sistema de servicio que se representa según una cola infinita y canal único. Las entidades están representadas por los litros diarios de leche pasteurizada y desuerada.

Notación de Kendall: M/M/1: ∞ , FIFO

Parámetros: $M \rightarrow \infty$; $k = 1$; $\lambda_{LPQ} = 0,999 * \lambda_{LCQ} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $P_S = 0,7 * \lambda_{LPQ} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $\lambda = 0,3 * \lambda_{LPQ} \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $T_{MQ} = \frac{0,25 \text{ horas}}{150 \text{ litros}}$; $T_{PQ} = \frac{0,25 \text{ horas}}{150 \text{ litros}}$; $\mu = 600 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$

Empaquetamiento del queso: Es un sistema de servicio que se representa según una cola infinita y canal único. Las entidades están representadas por las unidades de queso prensadas.

Notación de Kendall: M/M/1: ∞ , FIFO

Parámetros: $M \rightarrow \infty$; $k = 1$; $C_{LPQ} = 4,4908 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$; $P_{UQ} = \frac{\lambda_{LPQ} \text{ quesos}}{C_{LPQ} \text{ día}}$; $\lambda = P_{UQ} = \frac{\lambda_{LPQ} \text{ quesos}}{C_{LPQ} \text{ día}}$; $T_{EQ} = \frac{10 \text{ segundos}}{\text{queso}}$; $\mu = 360 \frac{\text{quesos}}{\text{día}}$

2.4. Desarrollo del modelo computacional de simulación

El modelo computacional y de simulación del proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH, fue desarrollado utilizando el Software Arena versión 10.0 y el lenguaje de programación Siman. El mecanismo de avance del tiempo aplicado en el modelo fue el de incrementos fijos de tiempo, con un intervalo de tiempo de cada 1 día y una jornada de trabajo de 8 horas. Por cada día simulado el reloj se inicializa en la hora



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

0, simulando el inicio de la jornada de trabajo diario. Se ha considerado una jornada de trabajo de 6 días por semana. A continuación, se muestra en modelo computacional y simulación del proceso producción de queso, basado en el análisis y la identificación de los modelos matemáticos de los subsistemas.

```
;      Recepción de la leche cruda
61$ CREATE, 1,1:8:MARK(A1):NEXT(62$);
62$ ASSIGN: A2=NORM(477, 92.5):
      A3=0.4782 * A2:
      A4=0.4418 * A2:
      A5=0.08 * A2:
      X9=X9 + A5;
22$ STATION, E_lechecruda;
70$ TRACE, -1,"-Arrived to system at station E_lechecruda\n":;
25$ ASSIGN: Picture=I_lechecruda;
46$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(75$);
75$ TRACE, -1,"-Transferred to station E_Pasteurizacion\n":;
48$ ROUTE: 0.25,E_Pasteurizacion;
;      Pasteurización de le leche cruda
0$ STATION, E_Pasteurizacion;
177$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_Pasteurizacion\n":;
140$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(184$);
184$ TRACE, -1,"-Waiting for resource R_Pasteurizacion\n":;
101$ QUEUE, E_Pasteurizacion_R_Q:MARK(QueueTime);
102$ SEIZE, 1,Other: R_Pasteurizacion,1:NEXT(211$);
211$ BRANCH, 1:
      If,RTYP(R_Pasteurizacion).eq.2,212$,Yes:
      If,RTYP(R_Pasteurizacion).eq.1,114$,Yes;
212$ MOVE: R_Pasteurizacion,E_Pasteurizacion;
114$ TALLY: E_Pasteurizacion_R_Q Queue Time,INT(QueueTime),1;
221$ DELAY: 0.0,,Other;
      TRACE, -1,"-Delay for processing time (A3 + A4) / 1000\n":;
103$ DELAY: (A3 + A4) / 1000,,Other:NEXT(185$);
185$ TRACE, -1,"-Releasing resource\n":;
104$ RELEASE: R_Pasteurizacion,1;
168$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(112$);
112$ ASSIGN: Picture=I_lechePasteurizada;
190$ TRACE, -1,"-Transferred to station C_Calidad\n":;
108$ ROUTE: 0.03333,C_Calidad;
;      Uso del tanque de Recepción de la leche Pasteurizada
7$ STATION, E_tanqueRLP;
643$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_tanqueRLP\n":;
606$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(650$);
```



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

```
650$ TRACE, -1,"-Waiting for resource E_tanqueRLP_R\n";
567$ QUEUE, E_tanqueRLP_R_Q;
568$ SEIZE, 1,Other: E_tanqueRLP_R,1:NEXT(677$);
677$ BRANCH, 1:
    If,RTYP(E_tanqueRLP_R).eq.2,678$,Yes:
    If,RTYP(E_tanqueRLP_R).eq.1,687$,Yes;
678$ MOVE: E_tanqueRLP_R,E_tanqueRLP;
687$ DELAY: 0.0,,Other; TRACE, -1,"-Delay for processing time 0.5\n";
569$ DELAY: 0.5,,Other:NEXT(651$);
651$ TRACE, -1,"-Releasing resource\n";
570$ RELEASE: E_tanqueRLP_R,1;
634$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(656$);
656$ TRACE, -1,"-Transferred to station E_Envasadora\n";
574$ ROUTE: 0.08333,E_Envasadora;
; Utilización de la Olla doble fondo
12$ STATION, E_Olla;
927$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_Olla\n";
890$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(859$);
859$ ASSIGN: Picture=I_queso;
934$ TRACE, -1,"-Waiting for resource E_Olla_R\n";
851$ QUEUE, E_Olla_R_Q:MARK(QueueTime);
852$ SEIZE, 1,Other: E_Olla_R,1:NEXT(961$);
961$ BRANCH, 1:
    If,RTYP(E_Olla_R).eq.2,962$,Yes:
    If,RTYP(E_Olla_R).eq.1,864$,Yes;
962$ MOVE: E_Olla_R,E_Olla;
864$ TALLY: E_Olla_R_Q Queue Time,INT(QueueTime),1;
971$ DELAY: 0.0,,Other; TRACE, -1,"-Delay for processing time 3\n";
853$ DELAY: 3,,Other:NEXT(935$);
935$ TRACE, -1,"-Releasing resource\n";
854$ RELEASE: E_Olla_R,1;
918$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(941$);
941$ TRACE, -1,"-Transferred to next module\n":NEXT(A_DESUERADA);
; Desuerada del queso
A_DESUERADA TRACE, -1,"-Making assignments\n";
972$ ASSIGN: A11=0.7 * A7:
    A12=0.3 * A7:NEXT(A_MoldeoPrensado);
A_MoldeoPrensado ROUTE: 0.16667,E_MoldeoPrensado;
; Moldeo y Prensado del queso
14$ STATION, E_MoldeoPrensado;
1049$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_MoldeoPrensado\n";
1012$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1056$);
1056$ TRACE, -1,"-Waiting for resource E_MoldeoPrensado_R\n";
973$ QUEUE, E_MoldeoPrensado_R_Q:MARK(QueueTime);
```



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

```
974$ SEIZE, 1,Other: E_MoldeoPrensado_R,1:NEXT(1083$);
1083$ BRANCH, 1:
    If,RTYP(E_MoldeoPrensado_R).eq.2,1084$,Yes:
    If,RTYP(E_MoldeoPrensado_R).eq.1,986$,Yes;
1084$ MOVE: E_MoldeoPrensado_R,E_MoldeoPrensado;
986$ TALLY: E_MoldeoPrensado_R_Q Queue Time,INT(QueueTime),1;
1093$ DELAY: 0.0,,Other; TRACE, -1,"-Delay for processing time 0.5\n";;
975$ DELAY: 0.5,,Other:NEXT(1057$);
1057$ TRACE, -1,"-Releasing resource\n";;
976$ RELEASE: E_MoldeoPrensado_R,1;
1040$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1063$);
1063$ TRACE, -1,"-Transferred to next module\n":NEXT(R_MoldeoPrensado);
; Salida del Sistema
16$ STATION, E_A_queso;
1125$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_A_queso\n";;
1095$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1132$);
1132$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n";;
1124$ DISPOSE: Yes;
; Solicitud Empaquetamiento del queso
1180$ CREATE, 1,1:8:MARK(A1):NEXT(1181$);
1181$ ASSIGN: X11=X11 + 1:
    A13=X6;
1141$ STATION, A_Empaquetamiento;
1189$ TRACE, -1,"-Arrived to system at station A_Empaquetamiento\n";;
1144$ ASSIGN: Picture=I_queso;
1165$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1193$);
1193$ TRACE, -1,"-Transferred to next module\n":NEXT(V_Empaquetamiento);
V_Empaquetamiento BRANCH, 1:
    If,A13 > 0,A_EMPAQUE,Yes:
    Else,S_EMPAQUE,Yes;
A_EMPAQUE ROUTE: 0.16667,E_Empaquetamiento;
S_EMPAQUE DISPOSE: No;
; Empaquetamiento del queso
17$ STATION, E_Empaquetamiento;
1296$ TRACE, -1,"-Arrived to station E_Empaquetamiento\n";;
1259$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1303$);
1303$ TRACE, -1,"-Waiting for resource E_Empaquetamiento_R\n";;
1220$ QUEUE, E_Empaquetamiento_R_Q:MARK(QueueTime);
1221$ SEIZE, 1,Other:
    E_Empaquetamiento_R,1:NEXT(1330$);
1330$ BRANCH, 1:
    If,RTYP(E_Empaquetamiento_R).eq.2,1331$,Yes:
    If,RTYP(E_Empaquetamiento_R).eq.1,1233$,Yes;
1331$ MOVE: E_Empaquetamiento_R,E_Empaquetamiento;
```



Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio: Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

```
1233$ TALLY: E_Empaquetamiento_R_Q Queue Time,INT(QueueTime),1;
1340$ DELAY: 0.0,,Other;
TRACE, -1,"-Delay for processing time A13 * 0.00277778\n";
1222$ DELAY: A13 * 0.00277778,,Other:NEXT(1304$);
1304$ TRACE, -1,"-Releasing resource\n";
1223$ RELEASE: E_Empaquetamiento_R,1;
1287$ DELAY: 0.,,Other:NEXT(1310$);
1310$ TRACE, -1,"-Transferred to next module\n":NEXT(R_E_queso);
; Resultados del Empaquetamiento del queso
R_E_queso TRACE, -1,"-Making assignments\n";
1341$ ASSIGN: X6=X6 - A13:
X8=X8 + A13:
X17=X17 + A13:
CPUQ=(GGFQ / X17) + CUQ:
CTPC=(X16 * CPLLP) + (X17 * CPUQ):
ITPC=(PVLLP * (X16 - X10)) + (PVUQ * X17):
RP=ITPC / CTPC:NEXT(W_Produccionqueso);
```

2.5. Validación del modelo de simulación

Un modelo es válido si sus medidas de salida tienen una correspondencia apropiada con las mismas medidas en el sistema real (Naylor, Balinffy, Burdick, & Chu, 1966). Para la validación del modelo computacional de simulación propuesto se consideraron los datos reales o históricos y los datos simulados que se obtuvo de ejecutar el modelo computacional, de dos variables importantes, estas son: recepción diaria de leche cruda (entrada), y producción diaria de queso (salida).

Para cada validación del modelo computacional propuesto se compararon los datos reales o históricos con los valores simulados del funcionamiento de la planta, correspondiente a 671 días laborables, obteniéndose los datos estadísticos para cada proceso con el software Input Analyzer del paquete Arena versión 10.0. Para cada variable, se utilizó la técnica estadística de prueba de hipótesis Z normalizado, por cuanto las variables a comparar siguen una distribución normal, estableciéndose en cada caso una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_a).

En la Tabla 3.Recepción diaria de leche cruda., se recoge el análisis estadístico obtenido de los valores para la variable de entrada; mientras que en la Tabla 4. Producción diaria de queso., se recoge el análisis estadístico de los datos de la variable de salida.

Tabla 3.

Recepción diaria de leche cruda.



Origen	Resultados
Sistema real	Distribución normal de media 477 y desviación estándar 92,5 de 671 datos reales de litros de leche cruda recibida diariamente en la planta de lácteos FCP-ESPOCH. $\bar{X}_A = 477$ $\sigma_A = 92,5$ $n_A = 671$
Modelo de simulación	Distribución normal de media 479 y desviación estándar 89,1 de 671 datos simulados con el modelo desarrollado, de litros de leche cruda recibida diariamente en la planta de lácteos FCP-ESPOCH. $\bar{X}_B = 479$ $\sigma_B = 89,1$ $n_B = 671$

Resumen de análisis estadístico de valores reales y valores simulados de la variable de entrada: recepción diaria de leche cruda.

Las hipótesis establecidas para la variable recepción diaria de leche cruda son:

H_0 = Los conjuntos de datos reales y simulados de litros de leche cruda recibida son similares.

H_a = Los conjuntos de datos reales y simulados de litros de leche cruda recibida son diferentes.

Con nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y el criterio de aceptación para la hipótesis nula H_0 si $z_C > -1,959$ y $z_C < 1,959$, donde:

$$z_C = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{\sqrt{\frac{\sigma_A^2}{n_A} + \frac{\sigma_B^2}{n_B}}} \quad (1)$$

Reemplazando los valores, se obtiene un $z_C = -0.403$, que se encuentra dentro del intervalo de aceptación de la hipótesis nula H_0 , por lo que se acepta que: Los conjuntos de datos reales y simulados de litros de leche cruda recibida son similares.

Tabla 4.

Producción diaria de queso.

Origen	Resultados
---------------	-------------------



Sistema real Distribución normal de media 46,4 y desviación estándar 41,6 de 671 datos reales de unidades de queso producidas diariamente en la planta de lácteos FCP-ESPOCH.

$$\bar{X}_A = 46,4$$

$$\sigma_A = 41,6$$

$$n_A = 671$$

Modelo de simulación Distribución normal de media 47,1 y desviación estándar 8,77 de 671 datos simulados con el modelo desarrollado, de unidades de queso producidas diariamente en la planta de lácteos FCP-ESPOCH.

$$\bar{X}_B = 47,1$$

$$\sigma_B = 8,77$$

$$n_B = 671$$

Resumen de análisis estadístico de valores reales y valores simulados de la variable producción diaria de queso.

Las hipótesis planteadas para la variable de producción diaria de queso son:

H_0 = Los conjuntos de datos reales y simulados de unidades de queso producidas son similares.

H_a = Los conjuntos de datos reales y simulados de unidades de queso producidas son diferentes.

Con nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y el criterio de aceptación para la hipótesis nula H_0 si $z_C > -1,959$ y $z_C < 1,959$, donde z_C está definida en la ecuación (1), se obtiene un valor de $z_C = -0,425$, que se encuentra dentro del intervalo de aceptación de la hipótesis nula; esto es, se acepta que: Los conjuntos de datos reales y simulados de unidades de queso producidas son similares.

3. RESULTADOS

Dados los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a las dos variables seleccionadas del proceso de producción de queso, se acepta el modelo de simulación computacional de este proceso de producción, como válido. Por lo que se considera como una opción viable el desarrollo de modelos computacionales de simulación basados en el análisis e identificación de modelos matemáticos con sustento en la teoría de colas para los procesos de producción de la planta de lácteos FCP-ESPOCH.



Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio: Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

A futuro se espera que este trabajo contribuya a un estudio complementario de la planta de lácteos FCP-ESPOCH, que incluya la simulación de los procesos de comercialización y así obtener una herramienta que permita la experimentación no solo sobre la producción sino también sobre la variable de rentabilidad de la planta.

4. CONCLUSIONES

El estudio de simulación estuvo sustentado en un proceso metodológico el que orientó correctamente al investigador en las etapas de desarrollo del proyecto.

La teoría de colas fue una muy buena alternativa que permitió representar matemáticamente los sistemas de servicio existentes en los procesos de producción y comercialización y finalmente permitió la identificación de un modelo matemático que representa adecuadamente el funcionamiento de la planta de lácteos FCP-ESPOCH.

El software *Arena* es una excelente herramienta de simulación que permitió desarrollar el modelo computacional de simulación para la planta de lácteos FCP-ESPOCH, a través del lenguaje de programación *Siman* y las opciones visuales que posee para la animación y obtención de los resultados en forma de gráficos.

El modelo computacional de simulación desarrollado fue validado con técnicas estadísticas de demostración de hipótesis, lo que resulta que el mismo representa correctamente el funcionamiento de la planta de lácteos FCP-ESPOCH y los resultados esperados de su utilización son considerados cercanos a la realidad o válidos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2001). *Discrete-event system simulation*. Prentice Hall.
- Chávez, G. (2008). *Reactivación y Funcionamiento de la Planta de lácteos en la Estación Experimental Tunshi - ESPOCH. Tesis de Grado*. ESPOCH.
- Dynamic Programming. (1997). En F. Hiller, & G. Lieberman, *Introduction to Operations Research* (págs. 440-472). San Francisco: McGraw Hill.
- Feller, W. (1968). *Introduction to Probability Theory and Its Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fishman, G. (1973). *Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation*. John Wiley & Sons Inc.



**Simulación computacional de procesos de producción, caso de estudio:
Proceso de producción de queso en la planta de lácteos FCP-ESPOCH**

Revista Publicando, 4 No 13. No. 2. 2017, 248-265. ISSN 1390-9304

- Glover, F., April, J., Kelly, J., & Laguna, M. (2003). Simulation-based optimization: practical introduction to simulation optimization. *Winter Simulation Conference 2003*, 71-78.
- Gordon, G. (1969). *System Simulation*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Guasch, A., Piera, M., Casanovas, J., & Figueras, J. (2002). *Modelado y simulación : aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Edicions UPC.
- Integer Programming. (1997). En F. Hiller, & G. Lieberman, *Introduction to Operations Research* (págs. 478-546). San Francisco: McGraw Hill.
- Jun Son, Y., & A Wysk, R. (2001). Automatic simulation model generation for simulation-based, real-time shop floor control. *Computers in Industry*, 291-308.
- Kelton, D., Sadowski, R., & Sadowski, D. (2002). *Simulation with ARENA*. McGraw Hill.
- Menes, I. (2007). *Texto Básico Técnicas de Simulación*. Riobamba: ESPOCH.
- Morse, P. (2004). *Queues, Inventories and Maintenance: The Analysis of Operational Systems with Variable Demand and Supply*. Dover Publications.
- Naylor, T., Balinffy, J., Burdick, D., & Chu, K. (1966). *Computer Simulation Techniques*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pazos, J., Andrés, S., & Rebeca, D. (2003). *Teoría de colas y simulación de eventos discretos*. Pearson Educación.
- Pegden, D. (1984). *Introduction to SIMAN*. Systems Modeling Corporation.
- Rockwell Automation. (s.f.). *rockwellautomation*. Recuperado el marzo de 2012, de <http://www.rockwellautomation.com/>
- Saaty, T. (1961). *Elements of Queueing Theory*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. (2004). *Mathematical Methods of Operations Research*. New York: Dover Publications.