

EVALUACIÓN DE PLANES DE AMPLIACIÓN DE UNA PLANTA ELABORADORA DE PRODUCTOS LÁCTEOS

EVALUATING EXPANSION PLANS OF A DAIRY PRODUCTS PLANT

José R. Pérez-Romero¹, Enrique Arjona-Suárez² y Graciela Bueno-Aguilar²

¹Universidad Autónoma del Estado de México. 56259. El Tejocote. Estado de México. ²Programa en Estadística. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (arjona@colpos.mx)

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló para una planta elaboradora de productos lácteos situada en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, México. El objetivo fue evaluar si se mejorarían los tiempos de producción en la planta al ampliar sus líneas de producción con algunos nuevos componentes. Dado que no era posible realizar un experimento *in situ* en la planta por no disponer de los nuevos componentes, se construyó un modelo de simulación de la planta para evaluar las ampliaciones propuestas. El modelo fue validado por el personal responsable de la producción en la planta, y se utilizó para realizar un experimento estadístico que comparara los tiempos de producción de las configuraciones actuales y las propuestas. Los resultados mostraron que la adición de los nuevos componentes mejoraría considerablemente los tiempos de producción.³

Palabras clave: Estadística aplicada, simulación, tiempos de producción.

INTRODUCCIÓN

La industria de productos lácteos es de suma importancia para México y de ella dependen más de 40 mil productores. Actualmente el hato lechero nacional tiene poco más de 4 millones de vacas, de las cuales un millón corresponden a explotaciones tecnificadas, con 50% del total de leche producida. En condiciones de semipastoreo hay 1.5 millones de cabezas, más 1 millón de doble propósito y, aproximadamente, 500 mil de traspato para el autoconsumo de las familias rurales. En 1999 se obtuvieron 8887.3 millones L de leche, y 9311.4 millones para el año 2000 (SAGARPA, 2002).

Debido al dominio de los consorcios en la industria alimenticia, y particularmente en la de los productos lácteos en México, las pequeñas empresas que permanezcan en los mercados deben ser competitivas. El número de recursos, los niveles de inventario, la frecuencia de surtido de la materia prima son algunos factores

Recibido: Julio, 2002. Aprobado: Junio, 2003.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 37: 383-392, 2003.

ABSTRACT

This research was developed for a dairy products plant located in the Mezquital valley in the State of Hidalgo, México. Its purpose was to evaluate if production times in the plant would improve by expanding its production lines with some new components. Since the new components were not available for an *in situ* experiment, a simulation model of the plant was built to evaluate the proposed expansions. The model was validated by the production staff of the plant, and was used to perform a statistical experiment to compare production times of the present and proposed plant configurations. The results showed that the addition of the new components would considerably improve production times.

Key words: Applied statistics, simulation, production times.

INTRODUCTION

Dairy product industry is extremely significant for México; more than 40 thousand producers depend thereon. Currently, the national dairy herd is slightly above 4 million cows, out of which, 1 million are in technified farms, with 50% of the total milk produced. There are 1.5 million heads of cattle under semi-grazing conditions, plus 1 million dual purpose animals, and approximately 500 thousand heads in low-income rural families houses for self consumption. In 1999 milk production was 8887.3 million L, and in 2000 it was 9311.4 millions L (SAGARPA, 2002).

Since consortiums prevail in the food industry, and particularly in the Mexican dairy product industry, the small companies remaining in the markets should be competitive. The quantity of resources, the stock levels, the raw material procurement frequency, these are some of the factors involved in the problem of setting the product at the right place on the right time. Another very important factor is the use of machinery and personnel management. Equipment represents a high cost of investment, operation and maintenance, which should be profitable for the company.

³ El modelo de simulación desarrollado puede obtenerse contactando al primer autor de este artículo ♦ The developed simulation model may be obtained by contacting the first author hereof.

que inciden en el problema de colocar el producto en el lugar correcto en el momento preciso. Otro factor muy importante es la utilización de la maquinaria y el manejo del personal. Los equipos tienen un alto costo de inversión, operación y mantenimiento, el cual debe ser rentable para la empresa.

Este estudio se desarrolló para evaluar los planes de expansión de una planta elaboradora de productos lácteos situada en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, México. Como no era posible realizar un experimento *in situ* en la planta, se decidió construir un modelo matemático de la misma. Dada la naturaleza y complejidad del problema se optó por un modelo de simulación. El modelo se utilizó para realizar un experimento estadístico que comparara los tiempos de producción de la configuración actual y las propuestas.

En la industria de alimentos, a partir de 1980 se han utilizado las técnicas de simulación y modelado para analizar procesos, ayudar a resolver problemas complejos, y proponer nuevos sistemas de operación (Barrat, 1996). La simulación se ha utilizado principalmente en Europa y en los Estados Unidos. Algunas aplicaciones relevantes al presente estudio por los procesos que modelan y sus objetivos son los siguientes: Turker (1997) desarrolló el modelo CTemp para Campden & Chorleywood Food RA, el cual modela el comportamiento de calor de un alimento enlatado durante el proceso térmico. Un proceso de esterilización típico puede ser modelado por CTemp en fracciones de segundo. CTemp predice la temperatura y calcula los niveles de esterilización de un producto durante un proceso térmico, además de calcular el tiempo extra del proceso térmico si las condiciones iniciales de temperatura no son óptimas, así como evaluar el efecto de la sobrecocción del producto y su composición química. Flores *et al.* (1993) desarrollaron un modelo de simulación administrativo en una industria harinera, caracterizada por sus bajos márgenes de utilidad y altos volúmenes de producción, por lo que debe reducir sus costos de producción. El modelo de simulación permite evaluar diferentes condiciones económicas y estimar situaciones particulares para cada parámetro relacionando los elementos económicos, técnicos, financieros y de ingeniería de la fábrica. Sus usos incluyen: facilitar el análisis de factibilidad de la empresa, evaluaciones económicas de mercado resultado de la producción de tipos específicos de trigo, y la evaluación del impacto económico del material de entrada y de los parámetros de molienda. Syed *et al.* (1983) desarrollaron un modelo de simulación para una planta de salchichas y bolonia, con el objeto de evaluar el sistema. La planta representa un multiproceso con sistemas batch semicontinuos con dos procesos conectados en serie. Se elaboran varios productos con características propias de tamaño,

This study was developed with the aim of evaluating the expansion plans of a dairy product plant located at the Mezquital Valley, in Hidalgo State, México. Since it was not possible to carry out an *in situ* trial at the plant, the decision was made to build a mathematical model of the same. Because of the nature and complexity of the problem, a simulation model was selected. The model was used for a statistical experiment comparing the production times of the current configuration and the proposals.

In the food industry, as of 1980, the techniques of simulation and modeling have been used for process analysis, for contributing to the solution of complex problems, and for new operation system proposals (Barrat, 1996). Simulation has been mainly used in Europe and in the United States. Some of the applications relevant to this study because of the processes they model and their objectives are the following: Turker (1997) developed the CTemp model for Campden & Chorleywood Food RA, which models the heat behavior of a canned food during the thermal process. CTemp may model a typical sterilization process in fractions of a second. CTemp predicts temperature and calculates the sterilization levels of a product during a thermal process, besides calculating the thermal process extra time if the initial temperature conditions are not optimal, as well as evaluating the effect of product over-cooking and its chemical composition. Flores *et al.* (1993) developed an administrative simulation model in a flour industry, characterized by its low profit margins and high production levels; therefore, it is necessary to reduce production costs. The simulation model allows for evaluating different economic conditions and estimates specific situations for every parameter, relating economic, technical, financial and factory engineering elements. Uses include: facilitate the company's feasibility analysis, market economic evaluations resultant from the production of specific wheat types, and the evaluation of the economic impact of the input material and the milling parameters. Syed *et al.* (1983) developed a simulation model for a plant for sausages and Bolonia, in order to evaluate the system. The plant represents a multi-process facilities with semi-continuous batch systems with two processes under serial connection. Several products are manufactured, which have their own characteristics in terms of size, processing time, packing, weight and shape, but are similar regarding their composition. With the model, under the current operation conditions, the plant was found under-utilized because of mixing process unbalances. The results indicated that the "hydro-flaking" process efficiency for meats may be increased by 100% and the filling process rate by 25%. Besides, adding another equal parallel process, the achieved production times increment is negligible.

The first aforementioned model is an example for modeling the control of a thermal process. In this study,

tiempo de procesamiento, empaque, peso y forma, pero similares en cuanto a su composición. Con el modelo se observó que en las condiciones actuales de operación, la planta es subutilizada debido a desequilibrios en el proceso de mezclado. Los resultados indicaron que la eficiencia del proceso “hidroflaking” para carnes se podría incrementar en 100% y la tasa del proceso de relleno en 25%. Además, si se añade un proceso igual al paralelo, se logra un incremento insignificante en los tiempos de producción.

El primer modelo mencionado es un ejemplo para modelar el control de un proceso térmico. En el presente estudio se modelan varios procesos térmicos, incluyendo el de pasteurización. A diferencia de Turker (1997) que utilizó un modelo continuo, en este estudio se usa un modelo semicontinuo para los procesos térmicos. Esto permite una integración total de todos los elementos involucrados en dichos procesos. Respecto al modelo de Flores *et al.* (1993), el módulo de manufactura muestra cómo se pueden modelar, utilizando ecuaciones de diferencias, patrones de procesos. Estos pueden ser periódicos o supeditados al abastecimiento de materias primas. En este estudio se considera una demanda periódica (diaria) para los patrones de procesos y se utilizó entidades para modelarlos en vez de ecuaciones de diferencias, lo cual permite un mayor nivel de abstracción. Por último, el modelo de Syed *et al.* (1983) muestra una forma de modelar y analizar un proceso en serie utilizando el enfoque de procesos. En este trabajo se incluyeron dos procesos en serie utilizando el enfoque de actividades, lo que permitió incorporar las políticas de operación como flujos en las actividades y no como facilidades intrínsecas del lenguaje utilizado (externas al modelo). Esto permitió que los administradores de la planta, sin tener conocimientos previos sobre modelos de simulación, comprendieran el modelo desarrollado y participaran en su verificación y validación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos recolectados en 2000 sobre la configuración y los procesos de producción de la planta, en la cual se pasteuriza y maquila leche. Los productos incluyen quesos, yogur, crema y mantequilla. Las materias primas a partir de las cuales se obtienen los productos son leche, agua y diversos agregados. La unidad de medida utilizada para la leche y el agua es el litro; para los agregados, el gramo; y para los productos, el kilo. La principal variable que se midió es el tiempo de procesamiento para un grupo de productos, cuya unidad de medida es el minuto.

Se utilizaron para la implementación y experimentación con el modelo, el software de simulación SIMACT-VPR (Arjona y Pérez, 1999) y una estación de trabajo Hewlett Packard Kayak XM600. La descripción y ejecución de los modelos se hizo utilizando objetos visuales y expresiones formales, lo cual facilita su

several thermal processes are modeled, including pasteurization. Unlike Turker (1997), who used a continuous model, this study uses a semi-continuous model for thermal processes. This allows for a total integration of all the elements involved in such processes. Regarding the Flores *et al.* (1993) model, manufacturing model shows how process patterns can be modelled with difference equations. These may be regular processes or processes depending on the raw material procurement. This study considers a regular (daily) demand for the process patterns and uses entities for their modeling instead of difference equations, which allows for a higher level of abstraction. Finally, the Syed *et al.* (1983) model shows how to model and analyze a serial process using the process approach. This work included two serial processes using the activity approach, which allowed for the incorporation of the operation policies as activity flows and not as intrinsic facilities of the used language (external to the model). This allowed for the plant administrators, without having previous knowledge on simulation models, to understand the developed model and take part in its verification and validation.

MATERIALS AND METHODS

Data collected in 2000 about the configuration and the production processes of the plant, were used. In this plant, pasteurization and processing of the milk is carried out. The manufactured products include cheeses, yogurt, cream and butter. Raw materials from which products are obtained are milk, water and several aggregates. Measuring unit used for milk and water is liter; for aggregates, gram; and for products, kilo. The main variable that was measured is the processing time for a group of products, and the measuring unit is the minute.

Besides the simulation software SIMACT-VPR (Arjona and Pérez, 1999) and a Hewlett Packard Kayak XM600 work station were used for implementing and testing the model. The description and execution of the models were done by using visual objects and formal expressions, which facilitate their use. Models may be modified and analyzed in a dynamic manner while being executed.

Three methods were used. The first one is an activity model construction method; the second one is a method to implement models in SIMACT-VPR; and the third one is a classic statistical method to compare two designs.

Plant configuration and used equipment

In Figure 1, the plant configuration and the equipment used, are shown.

Plant's production processes

The plant manufactures five products and two sub-products. The products are yogurt and four cheeses (Panela cheese, Oaxaca cheese, Manchego cheese and Manchego cheese with chipotle). The first two

uso. Los modelos pueden modificarse y analizarse dinámicamente mientras se ejecutan.

Se utilizaron tres métodos. El primero es un método para la construcción de modelos de actividades; el segundo es un método para la implementación de modelos en SIMACT-VPR; y el tercero es un método estadístico clásico para la comparación de dos diseños.

Configuración de la planta y equipo utilizado

En la Figura 1 se muestra la configuración de la planta y el equipo utilizado.

Procesos de producción en la planta

En la planta se elaboran cinco productos y dos subproductos. Los productos son yogur y cuatro quesos (panela, oaxaca, manchego sencillo y manchego con chile chipotle). Los dos primeros quesos son de tipo fresco y los dos últimos son madurados. Los subproductos son crema y mantequilla.

Método utilizado para la construcción del modelo

Para la construcción del modelo se utilizó el enfoque de actividades. La idea de este enfoque (Poole y Szymankiewicz, 1977; Spriet y Vansteenkiste, 1982) es que cualquier componente en un sistema, en un momento determinado, sólo puede estar activo o inactivo.

Para representar un modelo mediante el enfoque de actividades, se utilizan tres tipos de componentes: Entidades, líneas de espera y actividades.

Entidades

Representan las componentes del sistema (recursos) y para su descripción se utilizan atributos. Los atributos pueden utilizarse como identificadores o indicar contenido, posición o características físicas. Cada atributo tiene un conjunto de valores permisibles (por ejemplo, para la entidad "marmita", los valores permisibles de su atributo "estado" serán: "vacía limpia", "vacía sucia" y "ocupada").

Líneas de espera

Son áreas de almacenamiento temporal donde permanecen las entidades cuando se encuentran inactivas. Las líneas de espera no necesariamente corresponden a componentes físicos del sistema.

Actividades

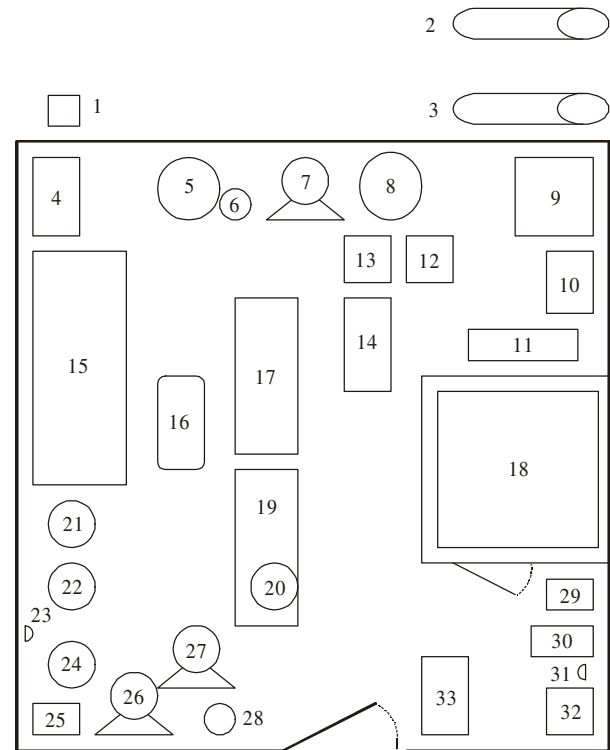
Representan las interacciones entre las componentes del sistema. Una actividad está constituida por un conjunto de flujos de entidades y un conjunto de modificaciones a los atributos de éstas, resultado de la actividad. Los flujos representan el cambio de inactividad a actividad, y viceversa, de las entidades que intervienen en la actividad. Debido a que las entidades inactivas se almacenan en líneas de espera, los flujos ocurren de las líneas de espera a las actividades y

cheeses are fresh cheeses and the other two are aged cheeses. The sub-products are cream and butter.

Method used to build the model

The activity approach was used to build the model. The idea of this approach (Poole and Szymankiewicz, 1977; Spriet and Vansteenkiste, 1982) is that any component of a system in a specific moment, can only be active or inactive.

In order to represent the model through the activity approach, three types of component are used: entities, waiting lines and activities.



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Caldera eléctrica 1. | 18. Cámara de refrigeración. |
| 2. Depósito de recepción 1. | 19. Mesa de trabajo 2. |
| 3. Depósito de recepción 2. | 20. Picadora de carne. |
| 4. Mesa de trabajo para análisis. | 21. Marmita 1. |
| 5. Tina de precalentamiento. | 22. Marmita 2. |
| 6. Descremadora. | 23. Lavamanos 1. |
| 7. Bomba para leche. | 24. Marmita 3. |
| 8. Pasteurizador lento. | 25. Caldera eléctrica 2. |
| 9. Banco de hielo. | 26. Bomba de caldera. |
| 10. Prensa vertical 1. | 27. Bomba de agua. |
| 11. Prensa vertical 2. | 28. Depósito de agua. |
| 12. Homogeneizador. | 29. Batidora-amasadora. |
| 13. Unidad de enfriamiento. | 30. Moldeadora. |
| 14. Pasteurizador rápido. | 31. Lavamanos 2. |
| 15. Tina de coagulación. | 32. Refrigerador de análisis y cultivos. |
| 16. Tina móvil. | 33. Selladora al vacío. |
| 17. Mesa de trabajo 1. | |

Figura 1. Configuración de la planta y equipo utilizado.
Figure 1. Plant configuration and equipment utilized.

viceversa. Una actividad se inicia cuando las entidades que requiere para su ejecución se encuentran disponibles en las líneas de espera apropiadas. La integración del modelo del presente estudio se hizo utilizando los pasos propuestos por Arjona (Arjona-Suárez y López-Mellado, 1996; y Arjona *et al.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo obtenido

El modelo obtenido, el cual fue validado por el personal responsable de la producción en la planta utilizando datos históricos, comprende un total de 55 entidades, 146 actividades y 152 líneas de espera, las cuales se muestran en los Cuadros 1 a 3. Las actividades 1 a 30 corresponden al proceso de pasteurización; las 31 a 54 a la elaboración del queso manchego; las 55 a 74 a la elaboración del queso panela; las 75 a 94 a la elaboración del queso oaxaca; las 95 a 108 a la elaboración

Cuadro 1. Entidades.
Table 1. Entities.

Entidad	Atributos	Entidad	Atributos [†]
Leche	Lugar de pasteurización	Orden2	
	Lote	Marca	
	Lugar cuajada	Manta	
	Tipo producto	Tapa	
Queso	Auxiliar	Cuchillo	
	Lugar de pasteurización	Lira	
	Lote	Filtro	
	Lugar cuajada	Atrincherador	
Yogur	Tipo producto	Agitador	
	Auxiliar	Molde	
	Lugar de pasteurización	Recipiente	
	Lote	Bote	
Pasteuriza	Lugar cuajada	Tina móvil	
	Tipo producto	Agua	
	Auxiliar	Sal	
	Tipo pasteurización	Calcio	
Trabajador	Tiempo	Cuajo	
	Estado	Inóculo	
Tinas	Tiempo	Chipotle	
TinaPre	Estado	Etiqueta	
Descremadora	Estado	Bolsa	
Bomba	Tiempo	Sacarosa	
Marmita	Estado	Polvo	
Caldera	Número	Envase hielo	
Homogeneizador	Tiempo	Ácido	
Batidora	Tiempo	Mermelada	
Selladora		Gramo	
Báscula		Kilo	
Moldeadora		Litro	
Cortadora		Suero	
Mesa		Agua	
Orden		Mantequilla	
Orden I		Crema	
		Queso	

[†] Estas entidades no tienen atributos.

Entities

They represent the system components (resources) and are described by means of attributes. Attributes may be used as identifiers or to indicate contents, position or physical characteristics. Every attribute has a set of allowable values (for instance, for the “kettle” entity, the allowable values for its “status” attribute are: “empty clean”, “empty dirty” and “full”).

Waiting Lines

These are temporary storage areas where the entities remain while idle. The waiting lines do not necessarily correspond to the system’s physical components.

Activities

These represent the interactions between the system components. An activity is composed of a set of entity flows and a set of modifications to the entities’ attributes, as a result of the activity. The flows represent the shift from inactivity to activity, and vice versa, of the entities involved in the activity. Since the inactive entities are stored on waiting lines, the flows are from the waiting lines to the activities and vice versa. An activity starts when the entities it requires for its execution are available at the appropriate waiting lines. The model integration for this study was carried out using the steps suggested by Arjona (Arjona-Suárez and López-Mellado, 1996; Arjona *et al.*, 2001).

RESULTS AND DISCUSSION

Obtained Model

The obtained model, which was validated by the staff responsible for the plant production using historical data, covers a total of 55 entities, 146 activities and 152 waiting lines, which are shown under Tables 1 through 3. The activities 1 through 30 correspond to the pasteurization process; 31 through 54 to the Manchego cheese manufacturing process; 55 through 74 to the Panela cheese manufacturing process; 75 through 94 to the Oaxaca cheese manufacturing process; 95 through 108 to the yogurt manufacturing process; 109 through 116 to the cream manufacturing process; and 117 through 126 to the butter manufacturing process. The waiting lines 45 through 68 correspond to the intermediate status in the Manchego cheese manufacturing process; 70 through 87 to intermediate status in the Panela cheese manufacturing process; 88 through 106 to intermediate status in the Oaxaca cheese manufacturing process; 45 through 68 to intermediate status in the yogurt manufacturing process; 119 through 125 to intermediate status in the cream manufacturing process; and 126 through 134 to intermediate status in the butter manufacturing process.

Cuadro 2. Actividades del modelo (tiempo T en min).
Table 2. Model activities (time T in min).

Núm.	Nombre	T	Núm.	Nombre	T	Núm.	Nombre	T	Núm.	Nombre	T
1	LavadoPL	10-15	38	Mdesuerado	10-15	75	Oagregar	0.5-1	112	Cinocular	0.5-1
2	Lavado PR	15-20	39	Mchedarizar	15-20	76	OajusteAcidez	2-5	113	Cacomodo	3-5
3	Lavado TinaPre	5-10	40	MprepararChipotle	15-20	77	Ocajal2	0.5-1	114	Crefrigerado	1080
4	LavadoDescremadora	10-15	41	MmezclarChipotle	5-10	78	Ocuajado	30	115	Cenvasado	25-30
5	LavadoMarmita	1-2	42	Msalado	15-20	79	Oortado	3-5	116	Ccarga	3-5
6	LavadoT5	15-20	43	Mmoldeado	0.5-1	80	Oreposito1	5	117	ManteqPasteurizar	2-3
7	LecheDelDía	1440	44	Mprensado1	360-480	81	Oagitado	10-15	118	ManteqInocular	2880
8	Caldera1	30	45	Mvoltageado	15-20	82	Oreposito2	5	119	ManteqBatido	5-10
9	Comprueba5	0	46	Mprensado2	720	83	OprobarHilado	2-5	120	ManteqLavado	5-10
10	Caldera2	30	47	Mdespensado	0.5-1	84	Odesuerado	3-5	121	ManteqAmasadoSal	10-15
11	Llegadaaplanta	60	48	Macomodo	0.5-1	85	Ohilado	15-20	122	ManteqAcomodo	0.5-1
12	Descarga	0.75-1	49	Mmadurar	20160-30240	86	Oenfriado	5	123	ManteqRefrigerado	720
13	BombeoDescremadora	0.75-1	50	Mlavadocepillado	1-2	87	Osalado	2-5	124	ManteqPesado	0.5-1
14	Calentar	20-30	51	Mempaquetar1	1	88	Obola	0.5-1	125	ManteqMoldeado	0.5-1
15	Descremar	40-50	52	Mempaquetar2	1	89	Oacomodo	0.5-1	126	ManteqCarga	2-3
16	DbombeoMarmita	0.75-1	53	Mpesado	0.25-0.5	90	Omadurar	1440	127	P5agregados	0.5-1
17	DbombeoPlento	1.5-2	54	Mcarga	10-15	91	Oempaquetar1	3-5	128	P5repositoCuajo	20-25
18	DbombeoPrapida	0.75-1	55	Pagregados	0.5-1	92	Oempaquetar2	3-5	129	P5cortado	25-30
19	BombeoMarmita	0.75-1	56	PrepositoCuajo	20-25	93	Opesado	0.25-5	130	P5agitado	5-10
20	Mpasteurizar	30	57	Pcortado	3-5	94	Ocarga	10-15	131	P5reposit	5
21	AjustarT1	6-12	58	Pagitado	3-5	95	YdescremarYogur	30-35	132	P5desuerado1	15-20
22	BombeoPlento	1.5-2	59	Preposito1	15	96	YacondicionaBase	2-3	133	P5salado	25-35
23	Lpasteurizar	30	60	Pdesuerado1	3-5	97	Yagitacion	2-5	134	P5agitar	3-5
24	BombeoMarA	0.75-1	61	Psalado	15-20	98	YbombeoAhomoge	0.75-1	135	P5reposito2	5
25	Bombeo5000A	1.5-2	62	Pagitar	3-5	99	Yhomogeneizacion	30	136	P5desuerado2	25-30
26	AjustarT2	12-24	63	Preposito2	5	100	YbombeoMarmita	0.75-1	137	P5moldeado	0.5-1
27	Bombeo5000B	0.75-1	64	Pdesuerado2	10-15	101	YajusteT	5-10	138	P5espera	30
28	BombeoYPrapida	0.75-1	65	Pmoldeado	0.5-1	102	Yinocular	0.5-1	139	P5voltageado	0.05
29	BombeoMarB	0.75-1	66	Pespera	30	103	Yincubar	180	140	P5acomodo	0.5-1
30	AjustarT3	6-12	67	Pvoltageado	0.05	104	Ymermelada	5-10	141	P5madurar1	1440
31	Magregados	0.5-1	68	Pacomodo	0.5-1	105	Yenvasado	0.5-1	142	P5desmoldar	0.5-1
32	Mreposito1	30-40	69	Pmadurar1	1440	106	Yacomodo	0.5-1	143	P5madurar2	1008
33	Mcuajo	30	70	Pdesmoldar	0.5-1	107	Yrefrigeracion	720	144	P5empaquetar1	3-5
34	Mreposito2	5	71	Pmadurar2	1008	108	Ycarga	0.5-1	145	P5empaquetar2	3-5
35	Mcortado	3-5	72	Pempaquetar1	3-5	109	Cestandarizar	5-10	146	P5pesado	0.25-0.5
36	MadicionAgua	40-50	73	Pempaquetar2	3-5	110	Cpasteurizar	1-2			
37	Mreposito3	5	74	Ppesado	0.25-0.5	111	Chomogeneizado	6			

Cuadro 3. Líneas de espera del modelo.**Table 3. Model waiting lines.**

Núm.	Nombre	Núm.	Nombre	Núm.	Nombre	Núm.	Nombre
1	LecheTotal	41	BatidoraAmasadora	81	Pvolteado	121	Cinocular
2	OrdenesProduccion	42	Moldeadora	82	Pmadurar	122	Cacomodo
3	OrdenCaldera1	43	AlmacenUtensilios	83	Pdesmoldar	123	Crefrigerado
4	Auxiliar1	44	AlmacenInsumos	84	Pmadurar	124	Cenvasado
5	LecheXDia	45	Mreposito	85	Pempaquetar1	125	Ccarga
6	Auxiliar2	46	Mcuajo	86	Pempaquetar2	126	ManteqMadurar
7	Descarga	47	Mreposito	87	Ppesado	127	ManteqBatido
8	OrdenCaldera2	48	Mcortado	88	OajusteAcidez	128	ManteqLavado
9	Calderas	49	MadicionAgua	89	Oacl2	129	ManteqAmasado
10	Bombeo	50	Mreposito2	90	Ocuajado	130	ManteqAcomodo
11	TanquesRecepcion	51	Mdesuerado	91	Ocortado	131	ManteqRefrigerado
12	PasteurizarM	52	QuesoAuxiliar	92	Oreposito1	132	ManteqPesado
13	AjusteT1	53	Mchedarizar	93	Oagitado	133	ManteqMoldeado
14	LecheAproducto	54	Mchipotle	94	Oreposito2	134	ManteqCarga
15	PasteurizarL	55	Msalado	95	OpruebaHilado	135	P5reposito1
16	BombeoMo5A	56	Mmoldeado	96	Odesuerado	136	P5cortado
17	Pasteurizadores	57	Mprensado	97	Ohilado	137	P5agitado
18	AjusteT2	58	Mvolteado	98	Oenfriado	137	P5reposito2
19	Panela5	59	Mprensado	99	Osalado	139	P5desuerado1
20	BombaLeche	60	Mdesprensado	100	Obola	140	P5salado
21	BombeoMo5B	61	Mprensas	101	Oacomodo	141	P5agitado
22	AjusteT3	62	Macomodo	102	Omadurar	142	P5reposito3
23	Marmitas	63	Mmadurar	103	Oempaquetar1	143	P5desuerado2
24	Calentar	64	Mlavado	104	Oempaquetar2	144	P5moldeado
25	Descremar	65	Mempaquetar1	105	Opesado	145	P5acomodo
26	Crema	66	Mpesado	106	Ocarga	146	P5volteado
27	TinaPre	67	Mempaquetar2	107	YacondicionarBase	147	P5madurar
28	Descremadora	68	Mcarga	108	YbombeoHomogeneiza	148	P5desmoldar
29	Recipiente	69	Venta	109	Yhomogeneizar	149	P5madurar
30	Suero	70	Preposito1	110	YbombeoMarmita	150	P5empaquetar1
31	Agua	71	Pcortado	111	YajusteT	151	P5empaquetar2
32	BombaAgua	72	Pagitado	112	Yinocular	152	P5pesado
33	Camara	73	Preposito2	113	YadicionarAgua		
34	CamaraCopia	74	Pdesuerado1	114	Ymermelada		
35	Selladora	75	Psalado	115	Yenvasado		
36	Báscula	76	Pagitado	116	Yacomodo		
37	Trabajadores	77	Preposito3	117	Yrefrigeración		
38	Cortadora	78	Pdesuerado2	118	Ycarga		
39	Mesas	79	Pmoldeado	119	Cpasteurizar		
40	Homogeneizador	80	Pacomodo	120	Chomogeneizado		

del yogur; las 109 a 116 a la elaboración de la crema; y las 117 a 126 a la elaboración de mantequilla. Las líneas de espera 45 a 68 corresponden a estados intermedios en el proceso de elaboración del queso manchego; las 70 a 87 a estados intermedios en el proceso de elaboración del queso panela; las 88 a 106 a estados intermedios en el proceso de elaboración del queso oaxaca; las 45 a 68 a estados intermedios en el proceso de elaboración del yogur; las 119 a 125 a estados intermedios en el proceso de elaboración de la crema; y las 126 a 134 a estados intermedios en el proceso de elaboración de la mantequilla.

En la Figura 2 se presenta la parte del modelo que corresponde al proceso de pasteurización en la planta. Los círculos representan líneas de espera; los rectángulos, actividades; y las flechas, flujos de entidades.

In Figure 2 the part of the model that corresponds to the pasteurization process in the plant, is shown. The circles represent waiting lines; rectangles, activities; and arrows, entity flows.

Evaluation of proposed extensions

In order to evaluate the proposed extensions, the model was used to test two designs of the production process. The first one, design A, corresponded to the current configuration of the production processes. The second one, design B, corresponded to the extended configuration of the production processes. These extensions include the use of three new kettles and an additional pump for milk. This group of kettles would be fed by the second boiler of the plant.

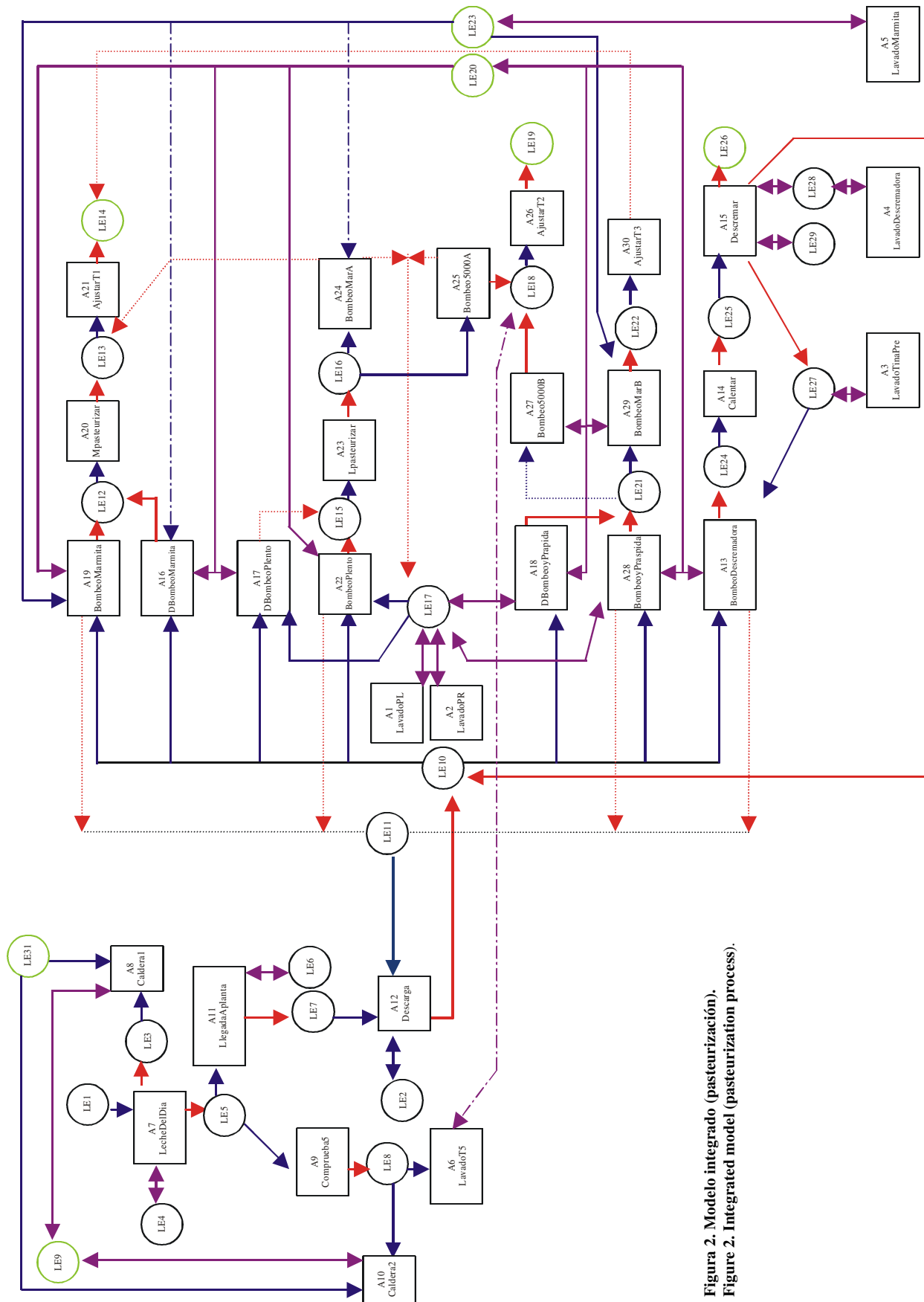


Figura 2. Modelo integrado (pasteurización).
Figure 2. Integrated model (pasteurization process).

Evaluación de las ampliaciones propuestas

Para evaluar las ampliaciones propuestas se experimentó con el modelo utilizando dos diseños del proceso de producción. El primero, diseño A, correspondió a la configuración actual de los procesos de producción. El segundo, diseño B, correspondió a la configuración ampliada de los procesos de producción. Estas ampliaciones incluyen el empleo de tres nuevas marmitas y una bomba para leche adicional. Este grupo de marmitas sería alimentado por la segunda caldera de la planta.

La principal variable medida fue el tiempo esperado de producción bajo un esquema típico de producción de la planta. Este esquema incluye la elaboración de varios tipos de quesos y yogur empleando dos turnos consecutivos de ocho horas. El tiempo de producción es aquel en que finaliza la última actividad involucrada en los procesos requeridos para elaborar los productos especificados en el esquema típico. La unidad experimental fue la materia prima disponible para elaborar dichos productos.

El experimento consistió en una prueba de diferencia de medias de los tiempos de producción de cada uno de los diseños. Se realizaron 30 réplicas independientes de cada uno, se aparearon una a una las observaciones obtenidas para el primer y el segundo diseño en una relación temporal, como es apropiado para este tipo de experimento (Law y Kelton, 2000), y se calcularon intervalos de confianza para las diferencias de los tiempos esperados de producción. En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos. Destaca una diferencia promedio de 194.40 min a favor del Diseño B.

CONCLUSIONES

Los intervalos de confianza obtenidos a 80% (190.08-198.71), a 90% (188.81-199.94) y a 95% (187.79-201.01) excluyen al cero, lo cual evidencia que el segundo diseño es mejor que el primero. Las mejoras en los tiempos esperados de producción son del orden de 25%. El modelo incluye varios procesos genéricos para la elaboración de los productos y subproductos. Por tanto, puede ser considerado como una representación general de la industria elaboradora de productos lácteos y se puede adaptar a otras plantas mediante la introducción de datos particulares de los insumos y de las capacidades y uso del equipo.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del presente trabajo fue apoyado parcialmente por el CONACYT mediante el proyecto 31984-B.

LITERATURA CITADA

Arjona, E., G. Bueno, and L. Salazar. 2001. An activity simulation model for the analysis of the harvesting and transportation systems

The main measured variable was the expected production time under a typical plant production outline. This outline includes the manufacture of several types of cheese and yogurt using two consecutive eight-hour shifts. The production time is when the last activity involved in the processes required to manufacture the products specified under the typical outline, comes to an end. The experimental unit was the available raw material for manufacturing such products.

The experiment consisted in a test of mean differences with the production times of each one of the designs. Thirty independent repetitions were executed for each design, and the results obtained were paired one by one for the first and second design in a time-based relation, as appropriate for this kind of experiment (Law and Kelton, 2000). Confidence intervals were calculated for the differences of the expected production times. In Table 4 the results attained are shown. A

Cuadro 4. Tiempos de ejecución de dos configuraciones del sistema.

Table 4. Execution times for two configurations of the system.

Réplica	Diseño A [†]	Diseño B [‡]	Diferencia
1	780.20	574.00	206.20
2	777.40	570.50	206.90
3	787.00	599.00	188.10
4	777.60	585.00	192.60
5	782.80	580.10	202.70
6	774.00	603.40	170.60
7	791.10	575.00	216.10
8	780.50	600.80	179.60
9	765.80	598.40	167.40
10	758.40	610.80	147.60
11	779.30	586.50	192.80
12	775.80	567.10	208.70
13	786.50	575.00	211.60
14	781.10	568.00	213.10
15	776.10	604.40	171.70
16	785.30	565.00	220.30
17	777.20	560.50	216.80
18	783.40	574.80	208.60
19	780.50	581.30	199.20
20	774.10	582.00	192.10
21	783.50	605.30	178.20
22	772.60	563.30	209.20
23	782.30	603.30	179.00
24	781.20	594.30	186.90
25	773.10	609.30	163.80
26	777.00	586.30	190.60
27	773.40	583.10	190.20
28	782.50	563.20	219.20
29	780.50	572.30	208.10
30	773.40	579.80	193.70
	Media		194.40
	Desviación estándar		18.50
	Intervalo de confianza 80%		190.10-198.70
	Intervalo de confianza 90%		188.80-199.90
	Intervalo de confianza 95%		187.80-201.00

[†] Diseño A: Corresponde a la capacidad actual instalada en la planta.

[‡] Diseño B: Corresponde a las ampliaciones propuestas.

- of a sugarcane plantation. *Computers and Electronics in Agric.* 32(2001): 247-264.
- Arjona-Suárez, E., and E. López-Mellado. 1996. Synthesis of coloured petri nets for FMS task specification. *Intern. J. Robotics and Automation.* 11(3): 111-117.
- Arjona-Suárez, E. and V. Pérez. 1999. Combining visual components and formal sums in Delphi 3 for interactive discrete event simulation. *In: Proceedings of the 1999 Summer Computer simulation conference.* Chicago, Illinois, USA. The Society of Computer Simulation International. La Joya, Ca, pp: 585-602.
- Barrat, L. 1996. Stimulating simulation. *Food Manufacture.* 71: 29-30.
- Flores R. A., E. S. Poster, R. Philliphs, and C. W. Deeyoe. 1993. Modeling the economic evaluation of the wheat flour milling operations. *Transaction of the ASAE.* 36(4): 1143-1149.
- Law, A., and W. Kelton. 2000. *Simulation Modeling and Analysis.* McGraw Hill Book Company. 759 p.
- Poole, T., and J. Szymankiewicz. 1977. *Using Simulation to Solve Problems.* McGraw Hill Book Company (UK) Limited. 333 p.
- SAGARPA. 2002. *Comportamiento de la producción y consumo de la leche en México. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera.* <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/>
- Spriet, J., and G. Vansteenkiste. 1982. *Computer Aided Modelling and Simulation.* Academic Press Inc. 490 p.
- Syed, S.A., S. Shah, M. Okos, and G.V. Reklaitis. 1983. Simulation modeling of a sausage manufacturing plant. *Transactions of the ASAE.* 28(6): 635-639
- Turker, G.S. 1997. Model for thermal process evaluation. *Food Manufacture.* 72: 28-30.

remarkable mean difference of 194.40 min was found, favouring Design B.

CONCLUSIONS

The confidence intervals obtained at 80% (190.08-198.71), 90% (188.81-199.94) and 95% (187.79-201.01) exclude the zero, thus evidencing that the second design is better than the first one. Improvements to the expected production times are of approximately 25%. The model includes several generic processes for manufacturing the products and sub-products. Therefore, it may be considered as a general representation of the dairy product industry and adapted to other plants by using specific input data and information about the equipment capacities and use.

—End of the English versión—

