

# ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS

## STUDY OF METHODS AND TIMES IN A FOOD PLANT

Silvio A. Mosquera<sup>1</sup>, Rafael A. Duque<sup>1</sup>, Dora C. Villada<sup>2</sup>

Recibido para publicación: Febrero 5 de 2008 - Aceptado para publicación: Diciembre 1 de 2008

### RESUMEN

La finalidad del proyecto fue determinar el tiempo estándar de las actividades del proceso para la obtención de leche pasteurizada y los movimientos innecesarios realizados por el operario en una empresa procesadora de derivados lácteos, mediante la utilización de herramientas como el estudio de tiempos y movimientos, utilizando la observación directa y secuencial del proceso para la determinación de diagramas de flujo, tiempos, distancias, actividades, operaciones, tiempos muertos, esperas, almacenamientos y transportes que se registraron en cursogramas analíticos, formatos de tiempos y formatos de desplazamiento de operarios. Para poder alcanzar los objetivos, se formularon propuestas para mejorar los métodos de trabajo, debido a que la carencia de registros de esta naturaleza no permitió abordar una evaluación y corrección de las deficiencias existentes en la planta de procesamiento. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar (unifactorial) con dos niveles y una prueba de Dunnet para establecer las diferencias significativas con un  $\alpha$  del 5%. Se encontraron diferencias significativas entre los tiempos de pasteurización y estándar del proceso.

**Palabras clave:** pasteurización, estudio de métodos, estudio de tiempos, distribución de instalaciones.

### ABSTRACT

The purpose of the project was to determine the standard time for each activities during milk pasteurization and the unnecessary operative movements in a milk derivative company using

---

<sup>1</sup>Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Calle 5 No. 4-70, Popayán. Telefax: (57-2) 8245976  
Email: smosquera@unicauca.edu.co

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Avenida Gran Colombia No. 12E-96B. Cúcuta. doclevica1@yahoo.com

time studies and movements. Direct and sequential observation were used to determine flow diagrams, times, distances, activities, operations, dead times, waits, storages and registered transports in analytic flowcharts, time formats and operative displacement formats. Two proposals were formulated to improve the work methods, because of the lack of data it was not possible to approach evaluation and correction in the present process deficiencies. A complete randomized design was used and Dunnett test was applied (5%) for mean reparation. Significant differences among pasteurization and standard times of the process were detected.

**Key words:** pasteurization, methods studies, methods efficiency, layout.

## INTRODUCCIÓN

Para la ejecución correcta de los procesos de manufactura se requiere de un equilibrio entre los recursos humanos, tecnológicos y físicos, así como de las interacciones que se presentan entre ellos. Por lo anterior, las empresas buscan la mejor manera de integrarlos y, con base en estudios de medición de los procesos, tomar referentes para comparar, decidir y aplicar cambios tendientes a incrementar la eficiencia en la producción (Chase *et al.*, 2005).

El estudio de trabajo está compuesto de técnicas, en particular el estudio de métodos y la medición del trabajo, que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y la economía de la situación estudiada, con el fin de implementar acciones encaminadas a mejorar las condiciones de operación (Chase *et al.*, 2005). El procedimiento para el desarrollo de un estudio del trabajo es el siguiente: 1) seleccionar el trabajo o proceso a estudiar; 2) registrar y organizar la información disponible, utilizando las técnicas apropiadas para tal fin; 3) analizar las situaciones encontradas críticamente, preguntándose si se justifica lo que se hace, según el propósito de la actividad; 4) definir el lugar en donde se llevará a cabo; 5)

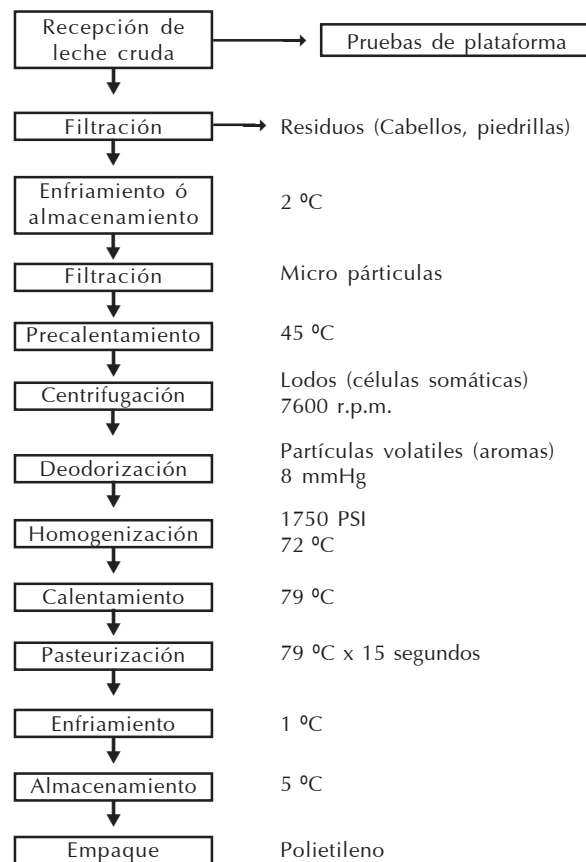
establecer el orden de ejecución; 6) definir el responsable de la ejecución del procedimiento y los medios a emplear, utilizando el método más económico para todas las circunstancias; 7) medir la cantidad de trabajo que exige el método elegido y calcular el tiempo tipo que lleva hacerlo; 8) definir el nuevo método y el tiempo correspondiente para que pueda ser identificado en todo momento; 9) implementar el nuevo método como práctica general aceptada con el tiempo fijado y, finalmente, 10) mantener en uso la nueva práctica mediante procedimientos de control adecuados (Correa, 1998).

El estudio de métodos es el registro y examen crítico y sistemático de los modos existentes y proyectados para llevar a cabo un trabajo, como medio para diseñar y aplicar mecanismos más sencillos y eficaces orientados a la reducción de los costos (Correa, 1998). Los objetivos de un estudio de métodos son, entre otros, mejorar los procesos y los procedimientos; mejorar la disposición de la fábrica, taller y lugar de trabajo, así como de los modelos para disposición de máquinas e instalaciones; optimizar el esfuerzo humano y reducir la fatiga; mejorar la utilización de materiales, máquinas y mano de obra y crear mejores condiciones de trabajo (Villa y Grass, 2002).

Existen diversas técnicas que van desde la disposición general de la fábrica hasta los menores movimientos del operario en trabajos repetitivos, para resolver los múltiples problemas. En cualquiera de los casos, el procedimiento es fundamentalmente el mismo y debe seguirse meticulosamente. Logendran y Kriausakul (2006) utilizaron el algoritmo de la búsqueda tabú para alcanzar la solución óptima o cercana al óptimo en instalaciones de manufactura, por medio de dos fases que permitieron la localización y manipulación correcta de las áreas de trabajo y la obtención de la configuración de las instalaciones como mecanismo de evaluación. El presente estudio se llevó a cabo en una procesadora de lácteos, en donde se hizo la determinación de los tiempos estándar y de los movimientos innecesarios realizados por el operario durante el proceso de obtención de leche pasteurizada, con el objeto de optimizar el trabajo. Con esta información, se formularon propuestas para mejorar los métodos de trabajo, puesto que la carencia de registros no permitió hacer una evaluación y corrección de las deficiencias existentes en la planta de proceso.

A la leche cruda recibida se le realizan pruebas de plataforma para determinar su estado y calidad y descartar la que esté ácida o con presencia de adulterantes (Mejía, 1999). Las cantinas se colocan sobre un transportador mecánico de rodillos, luego se invierten para evacuar el contenido que pasa a través de un primer filtro que retiene partículas grandes. La leche pasa al intercambiador de placas en donde se filtra nuevamente (para retirar micro partículas) al pasar por el filtro tubular que mantiene la temperatura del producto cercana a los 2 °C; posteriormente, se deposita en tanques de almacenamiento para leche cruda o, según el caso, pasa directamente a sala de proceso

(Figura1). El equipo de pasteurización puede funcionar sin necesidad de operación humana, por lo que al iniciar el proceso en la mañana, el operario se dedica a lavar los lavabotas ubicados en el área de producción y preparar y adicionar la solución desinfectante. Al finalizar la pasteurización en la jornada de la mañana, se realiza un lavado CIP del equipo. En la jornada de la tarde, luego del empaque de leche se hace el lavado del equipo y de las líneas de procesamiento de yogur y empaque de leche pasteurizada, en donde se encontró un tiempo de ocio del operario de 30 minutos durante la recirculación de la soda y del ácido. Para realizar el empaque de la leche, se requiere que el tanque contenga un volumen mínimo de 1000 L (Equivalente a 12 minutos de funcionamiento del



**Figura 1.** Diagrama de flujo para la producción de leche pasteurizada.

pasteurizador) para garantizar continuidad en la operación; estos 12 minutos de espera son empleados por el operario en el alistamiento de la máquina empacadora (calibración del flujo de leche, funcionamiento del rollo de polietileno, revisión del fechador y lavado de los rodillos).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estudio piloto de métodos

Con base en el reporte de Duque (2004), se realizó una descripción y análisis de las actividades y de los métodos utilizados por los operarios en la pasteurización de leche entera y su relación con los procesos de manufactura, mediante la utilización del cursograma analítico para encontrar la secuencia de las operaciones, los transportes, las esperas, los almacenamientos e inspecciones, las distancias recorridas y los tiempos empleados, movimientos de retroceso y cargas movilizadas.

### Estudio de tiempos

Se siguió el método propuesto por Willian (1996) de llevar el cronómetro a ceros al inicio y finalización de cada actividad haciendo la distinción por cada ciclo, para determinar el tiempo estándar con base en el tiempo normal, el factor de suplemento y el factor de actuación. Se realizó un estudio piloto con la utilización de 10 muestras para obtener el orden de las actividades a las cuales se les tomó el tiempo, adicionalmente se llevó a cabo el cálculo de los tiempos mínimo y máximo de cada uno de los procesos. Para mayor exactitud en la medición, el proceso se dividió en elementos (en una o varias actividades) para observar y medir al trabajador durante varios ciclos considerando: procesos repetitivos ejecutados sobre una operación en

particular, según las variables cuyo tiempo básico cambió de acuerdo con las características del producto; procesos manuales y mecanismos para evaluar el trabajo realizado por el trabajador y por la máquina.

### Valoración de la actuación

Se calificó la eficiencia (usando una escala con base 100) con la que un operario normal realizaba una actividad, en donde 100 fue la calificación para una actuación normal, valores inferiores correspondieron a situaciones deficitarias con bajo desempeño y valores superiores fueron los óptimos. El factor de suplemento se refiere a los tiempos de retraso que se agregan al tiempo normal, para lo cual se utilizó el procedimiento de descripción de suplementos propuesto por la Organización Internacional del Trabajo.

### Obtención del tiempo estándar

Para ello se utilizaron el tiempo normal, el factor de suplemento y el factor de actuación. Teniendo en cuenta que los elementos del proceso estudiado tienen una duración superior a 30 minutos, se decidió tomar muestras de 20 ciclos y obtener el tiempo estándar de cada proceso. Correa (1994) indica que, si dentro de un proceso se presentan ciclos de treinta minutos o más, se puede tomar una cantidad inferior a 20 ciclos, pero sin que sea inferior a 10.

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar (Arreglo unifactorial) dado que el factor rango de tiempo de pasteurización se compone de dos niveles: el nivel 1 corresponde al tiempo mínimo y máximo de pasteurización obtenidos y el nivel 2 corresponde al tiempo estándar. La unidad experimental fue el tiempo de proceso de la leche pasteurizada, el cual se estimó así:

$$\text{Número de muestras } (N) = \frac{4 \times t_i^2 \times S^2}{l^2}$$

Donde  $N$  = número de muestras,  $I$  = intervalo de confianza (5%),  $S$  = coeficiente de confianza (90%),  $t_i$  = factor estándar obtenido a partir de los valores de  $t$  para obtener el número de muestras. Cada muestra se evaluó por triplicado y se realizaron tres replicas para un total de 54 unidades experimentales. Las diferencias significativas se obtuvieron con una prueba de comparación múltiple no paramétrica de Dunnett ( $\alpha = 5\%$ ). El paquete estadístico utilizado fue SPSS versión 10.0 (2007). La hipótesis a estudiar se relacionó con la existencia de diferencias entre el tiempo de proceso y el tiempo estándar del proceso de leche pasteurizada.

Se plantearon propuestas de distribución de las instalaciones conducentes a minimizar el número de desplazamientos de los operarios y de los materiales, mediante el siguiente procedimiento: se determinaron las distancias recorridas y la frecuencia de los desplazamientos entre las áreas, con base en lo anterior se elaboró la matriz de costos de la distribución actual, se elaboraron diagramas de relaciones, se propusieron modificaciones a la configuración actual mediante la evaluación de la eficiencia y reducción de los costos y, por último, se analizaron las opciones (Mosquera, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio piloto de métodos

En la pasteurización de leche ocurren 117 operaciones (algunas desarrolladas por un operario de manera consecutiva y/o simultánea), 23 transportes, 7 esperas (en ciclos de treinta minutos), que son los tiempos empleados en los lavados CIP -lavado de tubería con recirculación de soda y ácido- y momentos en los cuales no se realiza pasteurización, dado que existe un solo tanque de recepción, un almacenamiento y una

operación por inspección. De acuerdo con la actual forma de operación, se obtuvieron 658.82 m recorridos y 145.75 minutos de tiempo de producción.

Ante la gran cantidad de actividades, se propusieron las siguientes modificaciones y reducciones: 79 operaciones, 1 espera en el empaque de leche light (de 17.57 minutos, tiempo durante el cual se continuó con la pasteurización y el empaque de leche entera pasteurizada en una máquina y en la otra leche light) y 14 desplazamientos (cuatro desde la zona de pasteurización hasta los controles de la bomba del tanque de leche en la zona de empaque; dos desde la zona de pasteurización hasta los controles de la bomba de pasteurizado y frío en la zona de empaque; ocho desde la zona de pasteurización hasta los tanques de lavado CIP en la parte exterior de producción). Con lo anterior, se logró disminuir la distancia de los recorridos a 282.2 m y el tiempo de producción a 122.28 minutos, lo que permitirá reducir los costos de operación e incrementar la eficiencia de los trabajos y operarios.

### Estudio de tiempos

El tiempo total estándar del proceso de pasteurización fue de 4.94 horas, que incluye el tiempo de manejo del operario sobre el equipo, más el tiempo de éste en la pasteurización, según los volúmenes de leche. El tiempo total estándar del operario fue de 3.32 horas (4.94 - tiempo de pasteurización) que coincidió con la información establecida por la empresa.

El tiempo total de producción del operario en el proceso de pasteurización de la leche anteriormente era de 145.75 minutos y se logró reducir hasta 122.28 minutos, al cual se le restaron los tiempos de los retrocesos (5.90 minutos) y de empaque de la leche light (17.57 minutos), dando como resultado una disminución de 23.47 minutos equivalentes al 19%.

### Distancias recorridas

La distancia total recorrida durante el proceso fue de 658.82 m. El operario encargado de la pasteurización dispone de tres opciones para su desplazamiento desde el equipo de pasteurización hacia las válvulas de los tanques de lavado CIP: desde el tablero de control del equipo de pasteurización hasta el tanque de almacenamiento de lavado CIP, pasando por la zona de empaque de leche y la zona de preparación de yogur es de 32.32 m; desde el tablero de control del equipo de pasteurización hasta los tanques de

almacenamiento de lavado CIP, pasando por el área de producción es de 35.86 m y desde el tablero de control del equipo de pasteurización hasta los tanques de almacenamiento de lavado CIP, pasando por la zona exterior del proceso de yogur es de 31.72 m (Figura 2). La distancia menor corresponde al tercer recorrido, sin embargo, no es la más recomendable porque presenta alto riesgo de contaminación cruzada para los productos, razón por la cual se eligió el primer recorrido como el más apropiado, aún siendo más extenso.

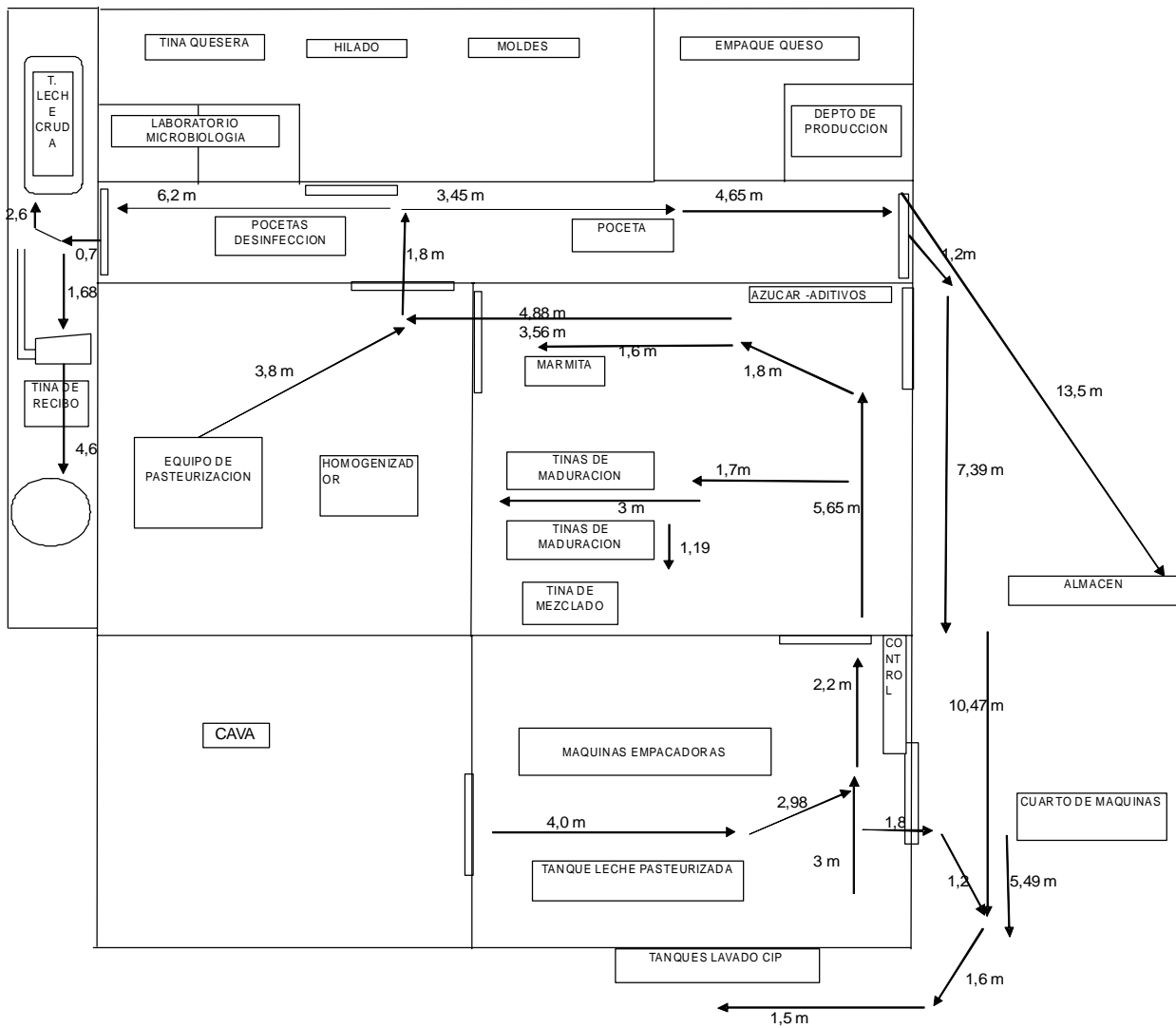


Figura 2. Distancias recorridas entre el pasteurizador y el tanque de lavado.

En el manejo de las válvulas que dan entrada a las sustancias provenientes de los tanques de lavado CIP, el operario tiene tres opciones de desplazamiento hasta la parte posterior del equipo de pasteurización: partiendo del tablero de control del pasteurizador y pasando entre el equipo de pasteurización y el homogenizador hasta las válvulas en la parte posterior del equipo, con distancia de 4.965 m; partiendo del tablero de control del pasteurizador y rodeando el homogenizador, con una distancia de 8.495 m; partiendo del tablero de control del pasteurizador y pasando por las placas de enfriamiento de leche cruda, con una distancia de 7.95 m. De las anteriores opciones se eligió la primera, por ser la más corta y ofrecer ventajas en el manejo del proceso, por la reducción en esfuerzos y de tiempo. En términos generales, se logró una disminución de 376.62 metros en la totalidad de los recorridos.

### Número de muestras obtenidas

Para el cálculo del número de muestras se trabajó con los tiempos del estudio piloto y los tiempos máximo y mínimo del proceso:

**Tiempo máximo de pasteurización:** Es el tiempo promedio empleado por el operario en el proceso (145.4 minutos), más el tiempo de pasteurización de 10000 L de leche (122.4 minutos, según datos históricos) y el tiempo del proceso de leche light (28.6 minutos), lo que da un tiempo máximo total de 296.36 minutos.

**Tiempo mínimo de pasteurización:** Se sumaron el tiempo promedio del operario (145.4 minutos) más los tiempos del proceso de leche light (28.64 minutos) y de pasteurización de 2000 L de leche (24.28 minutos, según datos históricos). El tiempo mínimo total fue de 198.4 minutos.

Para las 10 muestras tomadas en el estudio

piloto, el valor de  $d_2$  es de 3.078, con lo que la desviación estándar toma el siguiente valor:

$$S = \frac{(296.36107 - 198.40107)}{3.078} = 0.031825861$$

El número de muestras a obtener fue:

$$N = \frac{(4 \times t_{(i)}^2 \times S^2)}{I^2} = \frac{[(4)(1.83)^2 (0.031825861)^2]}{0.05^2}$$

$$= 5.4272 \cong 6 \text{ muestras}$$

Donde;

$t(i) = 1.83$ . Obtenido del cuadro de valores de  $t$  de student para 10 muestras,  $I$  = intervalo de confianza (5%) y un coeficiente de confianza del 90% para la distribución  $t$  de student.

El tiempo promedio del proceso en planta fue 247.38 minutos  $((296.36 + 198.4)/2)$  mientras que el tiempo estándar fue 296.4 minutos, lo cual demuestra que existe suficiente evidencia para indicar diferencia significativa entre el tiempo de pasteurización y el tiempo estándar, debido a que las habilidades y características de desempeño del operario seleccionado para el estudio son muy diferentes a las de los restantes operarios de la planta.

### Distribución física de instalaciones

Para la evaluación de la distribución física (Figura 3) predominante (orientada al proceso) se realizó una matriz de cargas (número de traslados de material, operarios ó elementos entre las áreas) en donde se consideraron los desplazamientos de 13 operarios durante ocho horas de trabajo (Tabla 1). El mayor flujo se presentó en las áreas de yogur, empaque de leche y cava, por ser zonas de alta circulación de los operarios y traslado hacia la cava de almacenamiento.

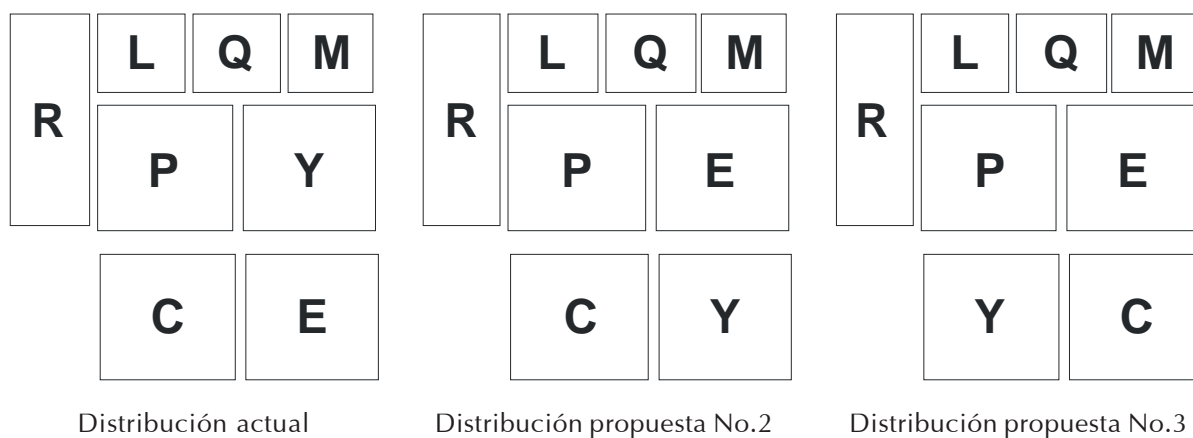


Figura 3. Distribución actual y propuesta para la planta

Tabla 1. Matriz de cargas distribución actual

Áreas	P	Y	Q	EQ	L	R	EL	C
P		394	261	238	246	225	530	366
Y								
Q		299		143	151	130	435	271
EQ		276						
L		284		128		115	420	256
R		263		107				540
EL		568		412		399		
C		404		248		235		

P= Pasteurización; Y= Yogurt; Q= Queso; EQ= Empaque queso; L= Laboratorio; R= Recepción; EL= Empaque de leche; C= Cava

Para elaborar la matriz de costos, se multiplicó el número de cargas movidas entre áreas por la distancia correspondiente y por el factor de costo que incluyó 1192 movimientos día, \$372500 como base de costo y \$1552 por hora trabajada. Se encontró que el costo total de los desplazamientos fue de \$20176; el costo por cada desplazamiento fue de \$16923, con base en una hora de trabajo diaria de cada operario y el valor de toda la matriz de costos fue de \$1595419.

Se plantearon tres propuestas para la modificación de la disposición interna de la

planta de proceso. En la propuesta número uno, las áreas de laboratorio, queso y empaque de queso se trasladan a las áreas iniciales de yogurt y empaque de leche; la zona de yogurt pasaría al área de queso; el área de empaque de leche se ubicaría en el área de pasteurización y la cava de almacenamiento de producto terminado pasaría al área de empaque de leche. Al realizar la matriz de costo de esta propuesta se obtuvo un valor de \$1497988.92. Con esta distribución se sugiere ampliar la cava, moviendo el área de pasteurización, lo que implica elevados costos en el traslado de las líneas y los servicios respectivos,



adicionalmente, el traslado de las áreas de laboratorio, queso y empaque hacia el área de yogur implica tener que realizar adecuaciones de espacio y el cierre de las salidas de algunas áreas.

En la propuesta de distribución número dos, el único cambio que se hizo fue pasar el área de empaque de leche al área de yogur. Esta distribución presentó un costo de \$1567986.30. En la tercera disposición se propuso trasladar el área de yogur al área de la cava, la cava pasaría al área de empaque de leche y el área de empaque de leche al área de yogur, con un costo de \$1527488.87.

La distribución física que permitió disminuir los costos de desplazamiento del operario durante un día de trabajo de ocho horas y ofreció mayor flexibilidad a la planta, fue la número uno con \$1497988.92. Esta distribución puede afectar los requerimientos técnicos de la producción, en cuanto al traslado y adecuación de líneas de proceso y de servicios (Escuela Superior Integral de Lechería, 2001). Domínguez *et al.* (2004) indica que este tipo heurísticos aportan soluciones factibles que no son necesariamente las óptimas, por lo que propone el uso de métodos modificados

como el de la Búsqueda Tabú. La complejidad y subjetividad en la mayoría de las aplicaciones de distribución física de instalaciones indican la necesidad de proveer diseños avanzados y herramientas de análisis a los diseñadores para encontrar la mejor solución en un tiempo relativamente rápido (Ahmad *et al.*, 2006). Por lo anteriormente citado, se sugirió las distribuciones 2 y 3 (Figura 3) en las que solamente se modifica la posición de las áreas de empaque de leche, yogur y cava, mediante el traslado de la cava hacia la zona de empaque y el traslado de la zona de yogur al segundo nivel, para aprovechar el empaque del producto por gravedad. Este cambio permitirá además, que el área de empaque de leche se ubique en una zona central lateral para disminuir el número de cargas de los operarios y, por ende, aumentar el tiempo disponible de éstos para invertirlo en otras operaciones, lo que traería como consecuencia directa la disminución de costos (Tabla 2). Islier (1998) así como Tam y Chan (1998) han usado algoritmos genéticos encontrando que permiten hallar soluciones superiores a las obtenidas usando técnicas convencionales, aunque requieren de gran esfuerzo computacional.

**Tabla 2.** Matriz de costos de la distribución recomendada.

Areas	P	Y	Q	EQ	L	R	EL	C
P		94347.42	44678.55	40741.36	86896.92	57074.50	69959.68	41436.60
Y								
Q		53354.36		18028.91	21720.67	29151.33	51825.00	38477.656
EQ		49250.18						
L		35805.68		18412.22		23425.60	78446.03	73172.34
R		31155.24		23993.79				
EL		77471.83		49084.82		54054.96		99956.02
C		125857.99		35212.02		74997.20		
Total		467242.69	44678.55	185473.13	108617.59	238703.58	200230.71	253042.70

## CONCLUSIONES

- En el área de pasteurización se presentó un gran número de retrocesos por parte del operario, en el lavado CIP del equipo, para lo cual se sugirió el cambio de válvulas manuales por electroválvulas y el manejo de las bombas desde el equipo de pasteurización.
- El estudio de métodos y tiempos es una excelente herramienta de valoración de actividades que permitió encontrar las deficiencias presentes en el proceso de pasteurización de leche que estaban afectando el rendimiento operacional de la planta de proceso. De la misma forma, marcó el derrotero para la proposición de modificaciones necesarias que se deben ejecutar para mejorar la productividad de manera sustancial.
- La diferencia significativa encontrada en el tiempo de pasteurización de la leche es un indicativo claro de la ocurrencia de inconsistencias presentadas en las condiciones de operación y en el

cumplimiento de las variables del proceso, de la misma manera, se puede intuir que existen serios inconvenientes en lo relacionado con la forma de realizar el trabajo por parte de los operarios, ya que la diferencia entre ellos es demasiado grande, lo que puede afectar la estabilidad fisicoquímica y microbiológica y, por ende, la calidad final de la leche pasteurizada que se ofrece al mercado, lo cual se puede ver reflejado en el incumplimiento de las normas establecidas y en el incremento en las devoluciones.

- La modificación de la disposición interna de una instalación de manufactura mediante la utilización de métodos numéricos no siempre es la mejor opción, ya que este tipo de heurísticos no considera las posibles contingencias que pueden ocurrir con la manipulación y tratamiento de los materiales que se deben procesar y trasladar entre las diferentes áreas de trabajo, por lo que se debe acudir a la revisión pormenorizada de las configuraciones y hacer los ajustes que se consideren necesarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, A.; Basir, O; Imam, M. y Hassanein, K. 2006. An efficient, effective, and robust decoding heuristic for metaheuristics-based layout optimization. *International Journal of Production Research* 44(8):1545-1567
- Chase, R.; Aquilano, N. y Jacobs, R. 2005. *Administración de Producción y operaciones, manufactura y servicios*. Mc Graw Hill, Bogotá, p848
- Correa, C. 1998. *Manual de Ingeniería de Métodos y Organización del Trabajo*. Universidad América, Bogotá, p16-20; 38-49
- Domínguez, C.; De los Ríos, G. y Velásquez, J. 2004. Distribución de espacios en plantas industriales usando Búsqueda Tabú. *Revista Dyna* 145(72):77-84
- Duque, R. 2004. Propuesta para la optimización de los procesos

- productivos de queso doble crema, leche pasteurizada y yogur. Tesis Ingeniero Agroindustrial, Universidad del Cauca, Popayán
- Escuela Superior Integral de Lechería. 2001. Memorias del curso de Tecnología de Leches UHT. Bucaramanga, p23-37
- Logendran, R. y Kriausakul, T. 2006. A methodology for solving the unequal area facility layout problem using distance and shape based measures. International Journal of Production Research 44(7):9-11
- Islir, A. 1998. A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design. International Journal of Production Research 36(12):1549-1569
- Mejía, L. 1999. La leche y su Control. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p120-138
- Mosquera, S. 2003. Material de clase de Administración de la Producción. VIII semestre Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Cauca, Popayán
- Tam, K. y Chan, S. 1998. Solving facility layout problems with geometric constraints using parallel genetic algorithms: experimentation and findings. International Journal of Production Research 36(12):3253-3272
- Villa, J. y Grass, J. 2002. Métodos y Tiempos. Universidad del Cauca, Popayán, p56-77
- Willian, H. 1996. Manual del Ingeniero Industrial. Mc. Graw Hill, México, p4-13