

Rediseño de una planta productora de lácteos mediante la utilización de las metodologías SLP, CRAFT y QAP

Redesign of a dairy production plant using SLP, CRAFT and QAP methodologies

Andrés Mauricio Paredes Rodríguez, Kelly Andrea Peláez Mejía, Vivian Lorena Chud Pantoja, Jorge Luis Payan Quevedo, Diana Roció Alarcón Grisales
Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia
 andres.paredes@correounivalle.edu.co, kelly.pelaez@correounivalle.edu.co,
 vivianchud@usc.edu.co, jorge.luis.payan@correounivalle.edu.co,
 diana.alarcon@correounivalle.edu.co

Resumen— La dinámica del entorno al cual se enfrenta las empresas, genera la necesidad de que estas sean flexibles. Por este motivo, en este documento se realizará un rediseño de una planta de lácteos utilizando la metodología SLP, CRAFT y QAP, y así, optimizar el flujo de material y personal dentro de la planta permitiendo un aumento en la producción.

Palabras clave— Distribución en planta, metodología SLP, rediseño de planta, método CRAFT.

Abstract— the dynamics of the environment in which companies faces, generates the need for these to be flexible. Therefore, in this paper will take a place a redesign of a dairy plant using the SLP, CRAFT and QAP methodologies, and thus optimize the flow of material and staff within the plant allowing an increase in production.

Key Word — Plant layout, SLP methodology, redesign of plant, CRAFT method.

I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, el problema de distribución en planta ha sido entendido de distintos puntos de vista: Caputo, Pelagage, Palumbo y Salini (2015) afirman que este problema consiste en encontrar la disposición espacial óptima de un conjunto de instalaciones teniendo en cuenta las conexiones que debe existir entre ellas para organizar de manera más eficiente la producción y aumentar la seguridad de la planta. Para Tarazona, Rodríguez y Ochoa (2014), el problema de distribución de planta se encuentra más

relacionado con la disposición de las máquinas, los departamentos, las estaciones de trabajo, las áreas de almacenamiento, los pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente. Rahman, Salim y Syeda (2014) ven la distribución en planta desde el enfoque económico, ya que consideran que este proceso busca la localización espacial más económica de las dependencias, manteniendo la interconectividad entre las mismas. Siguiendo esta misma tendencia, Prasad, Rajyalakshmi y Reddy (2014) mencionan que el objetivo fundamental del problema de distribución de las instalaciones es reducir al mínimo los costos de flujo de materiales mediante la colocación de las células dentro del área estipulada, siguiendo la orientación y las coordenadas espaciales de cada celda. Desde otro punto de vista Han, Cho y Yoon (2013) consideran que a la hora de ubicar cada una de las dependencias de una empresa, no solo se deben tener en cuenta los costos que involucra el proceso, sino también la seguridad que debe dar el diseño y localización de las instalaciones a cada uno de los operarios.

En la actualidad, las empresas se enfrentan a un ambiente cambiante e incierto, por lo que cada vez los proyectos de redistribución de planta son más comunes; es necesario aclarar que los proyectos de redistribución de planta consisten en la reorganización de los equipos, departamentos y recursos existentes en la planta, con el fin de mejorar su desempeño (Rivera, Cardona, & Vásquez, 2012). En este artículo se tratará el rediseño de una planta productora de lácteos ubicada

en la ciudad de Guadalajara de Buga, con el objetivo de mejorar el nivel de producción de algunos ítems y al mismo tiempo reducir los costos asociados al recorrido de material y personal dentro de la planta

Existen dos formas de solucionar un problema de distribución en planta: los métodos cuantitativos basados en la disminución de los costos de transporte entre las distintas dependencias, y los métodos cualitativos que tiene en cuenta las relaciones de cercanía entre los departamentos. En este artículo se utilizará un método cualitativo conocido como planificación sistemática de diseño o SLP (Systematic Layout Planning) debido a que permite tener en cuenta relaciones de dependencia cualitativa que se generan entre los departamentos, en este caso, de la planta productora de lácteos. Luego de obtener una distribución que incluye aspectos cualitativos de las relaciones entre las dependencias, se aplicarán los métodos cuantitativos CRAFT y QAP, buscando optimizar en un mayor grado la distribución obtenida por la metodología SLP.

El documento se desarrolla de la siguiente manera: en la sección 2 se presentará una revisión literaria sobre cómo se han abordado problemáticas de distribución en planta, en la sección 3 se planteará el problema específico que tiene en la actualidad la planta productora de lácteos, en la sección 4 se aplicará la metodología SLP al problema planteado, exponiendo los principales resultados encontrados luego de la iteración y se buscará optimizar la distribución obtenida por SPL a través de los métodos CRAFT y QAP, y por último se presentarán las conclusiones más relevantes obtenidas a partir de la investigación.

II. REVISIÓN LITERARIA

Desde mediados de siglo XX, se han desarrollado métodos que buscan solucionar problemas de diseño de fábricas: En 1950 aparece el método Immer, que atiende únicamente al principio de circulación o flujo de materiales, y es aplicable solamente a los problemas de reordenación o ajuste menor de una distribución ya existente. Luego surge la metodología de Reed, la cual se basa solo en el criterio del flujo de materiales entre las actividades. En 1976, Muther crea el método titulado Systematic Layout Planning (SLP), el cual hoy en día es uno de los métodos más populares a la hora de mejorar el diseño de cualquier tipo de planta. El objetivo de esta metodología es buscar la minimización de distancias recorridas por los materiales, estructuración lógica de procesos, minimización del espacio necesario, satisfacción y seguridad de los operarios y flexibilidad para ampliaciones o modificaciones

futuras. En pocas palabras, es un método organizado para realizar la planeación de una distribución (Tarazona et al., 2014)

En este estudio se tomará como base la metodología SLP debido a los buenos resultados que han evidenciado algunos autores: Mejía, Wilches, Galofre, & Montenegro, (2011) determinan la distribución más adecuada para el área de almacenamiento de un centro de distribución mediante la metodología SLP y la heurística CORELAP teniendo en cuenta las condiciones de los productos que allí se almacenan, Li, Qin y Cao (2012) diseñan la disposición de instalaciones de un taller de producción utilizando el método de planificación sistemática de diseño (SLP), a fin de lograr el propósito de acortar la trayectoria logística, ampliar el área de trabajo, manipular los materiales sin problemas, y mejorar la eficiencia de la producción. Qian (2013) exploró la aplicación del método SLP para la planificación espacial de un parque logístico. Hui y Shi-you (2013) analizan las características de la mina de carbón en la provincia de Shanxi China, mediante la planeación sistemática de la distribución en planta, para proyectar el patrón óptimo de diseño. Xu, Yang, Chen, Mao y Wang (2013) utilizan el método SLP para mejorar la distribución de las instalaciones en un taller de vehículos y de esta forma reducir los costos logísticos.

Sin embargo, es importante resaltar que existen otros métodos para realizar asignación de áreas y distribuir de manera óptima las empresas, como el CRAFT y el QAP, los cuales se van a utilizar como comparación frente a la metodología SLP. El método CRAFT fue formulado por Armour y Buffa en 1963 y se usa principalmente para reducir el costo de manejo de materiales asociado a una distribución en planta. Por ejemplo, Mohamadghasemi y Hadi-Vencheh (2012) utilizan la metodología CRAFT para medir el costo total de manejo de materiales provenientes de unos patrones de distribución establecidos por una metodología integrada basada en el valor de los juicios sintéticos difusos y la programación no lineal (SVFJ-PNL).

La metodología QAP busca asignar n instalaciones en p localizaciones, de tal forma de que se reduzca el flujo por distancia entre los departamentos. Por ejemplo, Salazar, Vargas, Añasco y Orejuela (2010) realizan una propuesta de distribución en planta para una pyme del sector metalmecánico, comparando mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) la perspectiva del grupo decisorio en la empresa respecto al tratamiento del flujo intercelular y de las distancias, obtenido por el uso de dos modelos de asignación para la distribución en planta: el problema de asignación

cuadrática (QAP) y el problema de asignación cuartica (QrAP).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta productora de lácteos a ser estudiada es una empresa que opera bajo un sistema Make to Stock, con un flujo de producción continuo y con pocas referencias de producto. Por este motivo, la planta productora de lácteos debe tener una distribución flexible de las instalaciones que le asegure una fácil y rápida adaptación a cambios en volúmenes de producción o cambios referentes al crecimiento de la demanda de otros productos, sin que requiera una inversión muy grande en ajustes o modificaciones. Otro aspecto vital para la planta es asegurar un flujo continuo de material para mantener altos niveles de producción de algunos ítems.

El principal problema que se identifica es que la planta fue diseñada para fabricar un solo producto, el queso, sin embargo, conforme se ha aumentado el portafolio de productos, la demanda se ha incrementado. Esto genera la necesidad de tener un almacenamiento de la materia prima de la leche cruda, con el fin de responder a dicha demanda y tener en cuenta aquellas fluctuaciones aleatorias del sistema como que los proveedores tengan algún inconveniente y no puedan cumplir con el envío de la leche en un determinado periodo, o que la leche que ingresa al proceso sea rechazada debido a que no cumple las pruebas de calidad.

La empresa es consciente que la falta de almacenamiento de materia prima ha generado que productos como la mantequilla haya reducido su producción en un 80% debido a que la leche que era utilizada para su fabricación, hoy en día es usada para la producción de la crema de leche, el cual es uno de los productos con mayor demanda en la compañía. Por este motivo es de vital importancia analizar la distribución espacial de la planta con el objetivo de optimizar el flujo de materiales y de esta forma impulsar las ventas a través de una mejor utilización de los recursos productivos.

Otra dificultad que se observa dentro de la planta es que no se tiene un espacio destinado para pasillos, ni una adecuada señalización, lo que provoca que se tenga un flujo lento de personal y materiales, además de la interferencia que se genera entre las operaciones realizadas por los empleados.

Debido a que se busca medir el aprovechamiento del recurso espacio dentro de la planta de producción, se implementará un indicador de utilización de espacio y se comparará con el porcentaje de pasillos establecidos por la industria. La tabla 1

muestra el área ocupada por cada una de las zonas que se encuentran dentro de la planta de producción, con la suma de estas áreas y conociendo que el área total de la planta es de $129,87 m^2$ se calcula el indicador de utilización de espacio a partir de dichas áreas, debido a que la altura de la planta es constante. El procedimiento se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{UEA} &= \text{EOA} / \text{EAT} \\ &= 120,1125 m^2 / 129,87 m^2 \\ &= 92,43\% \end{aligned}$$

Dónde:

- UEA = relación de utilización del espacio de almacén
- EOA = espacio ocupado de planta por componentes (m³)
- EAT = espacio de planta total (m³)

El indicador arroja que existe un 92,43% ocupado por las diferentes zonas ubicadas dentro de la planta de producción y solo queda disponible un 7,5% para pasillos. Comparando este último con el porcentaje estándar en la industria para la asignación de pasillos, el cual es aproximadamente un promedio de 10%, se puede apreciar que la planta productora de lácteos no tiene espacio para destinar a pasillos debido al desorden evidenciado en la planta, por lo cual se buscará mejorar el orden y la limpieza dentro de la instalación. Este análisis conlleva a pensar que se pueden crear pasillos debidamente demarcados, buscando una menor obstaculización y un mayor flujo de materiales y personal.

Zona	Espacio ocupado (m ²)
1-Recepcion y descremado	3,36
2- Empaque	10,8385
3- Tinas de metal	4
4- Molde y pesado	8,4
5- Secado	8,75
6- Cuajado	9,68
7- Calderas	12,716
8- Cocinado	20,16
9- Insumos	1,95
10- Tinas azules	10,8
11- Marmita	10,692
Cuarto frio 1	9,5
Cuarto frio 2	2,33

Lavamanos	0,5016
Recipientes de metal	6,4344
Total	110,1125

Tabla 1. Áreas de las zonas de la planta de producción.

Se puede concluir entonces que el principal problema de la planta productora de lácteos es no tener un sitio de almacenamiento de su principal materia prima, la leche, lo que le impide poder cumplir con los requerimientos que sus clientes le exigen. Por tal motivo se rediseñará la planta de producción, buscando establecer una nueva distribución que tenga en cuenta la localización de un cuarto para el almacenamiento temporal de la leche cruda y que a la vez mejore el flujo de materiales y personal dentro de la planta, para lo cual se necesitará crear y demarcar claramente los pasillos dentro de esta.

IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SLP

Para iniciar el proceso de rediseño de la planta se procede a aplicar la metodología SLP debido a que, como se evidenció previamente en la revisión literaria, es una técnica que se utiliza frecuentemente para minimizar el flujo del material a través de las instalaciones, a partir de juicios establecidos por especialistas en los procesos que se manejan en la planta. Esta metodología comienza reconociendo primero el flujo de los productos, especificando claramente su secuencia a través de cada una de las máquinas presentes en el área de producción. El diagrama multi-producto que se obtiene se muestra en el anexo 1.

La planta de producción de lácteos actualmente cuenta con 10 áreas definidas: recepción, filtrado y descremado; pasteurizado, cocido y cultivo de bacterias; calderas; batido y endurecido; cuajado; moldeado y prensado; molde y pesado; empacado y almacenamiento de producto terminado. Se debe aclarar que para el rediseño de la planta se van a establecer 2 nuevas áreas: el almacenamiento de materia prima y un cuarto de insumos. La razón de tener un área para el almacenamiento de materia prima, se debe a que se busca por lo menos tener un inventario de tres días de la leche, para poder responder de mejor forma a los cambios en la demanda o en diversas variables del proceso (variación en el lead time de las materias primas, defectos de calidad de la materia prima, entre otros) que se podrían llegar a presentar en el ambiente. El motivo de tener un cuarto de insumos es que actualmente en la planta existen todo tipo de herramientas y materiales como canastillas, tinas y moldes, que se encuentran depositadas aleatoriamente en el espacio. Por ende, con la construcción del cuarto se busca asignar un lugar para cada uno de estos

elementos y de esta forma, tener un orden que facilite la circulación de material y trabajadores.

Una vez definidas las zonas a ser localizadas en la planta de producción, se pasa a elaborar la matriz de flujo de material a través de cada uno de estos departamentos. Se debe aclarar que la unidad de medida en que se encuentra expresada el flujo es el litro. Dicha matriz se muestra en el anexo 2.

El siguiente procedimiento que se debe realizar para la aplicación de la metodología SLP es definir una matriz de relaciones teniendo en cuenta las ponderaciones establecidas en la tabla 2 y los criterios de cercanía establecidos por los autores en la tabla 3. La matriz de relaciones obtenida se muestra en el anexo 3.

Para establecer el orden en que se van a ir localizando cada una de las zonas se dará un peso a la calificación de la matriz de relaciones (véase la tabla 2), para de esta forma calcular el indicador TCR, que representa la suma de las relaciones de cada uno de los departamentos, el cual dice el área de mayor importancia en la distribución y a partir de esta se comienzan a asignar los otros espacios. La matriz de relaciones ponderada junto con el indicador TCR se presenta en el anexo 4; partiendo de esto se ordenan los departamentos del área de producción como sigue:

1. Recepción, filtrado y descremado
2. Almacenamiento de materia prima
3. Pasteurizado
4. Cultivo de bacterias
5. Cuajado
6. Moldeado y prensado
7. Cuarto de insumos
8. Empacado
9. Batido y endurecido
10. Molde y pesado
11. Almacenamiento de producto terminado
12. Calderas

	Prioridad	Peso
A	Absolutamente necesario	10.000
E	Especialmente importante	1.000
I	Importante	100
O	Cercanía normal	10
U	No es importante	0
X	No conveniente	-10.000

Tabla 2. Ponderaciones de la metodología SLP

	Razón de cercanía.
1	Secuencia de flujo de trabajo.
2	Cercanía a un proceso que tiene una relación fuerte con dicha actividad
3	Número de productos que comparten el proceso
4	Durabilidad del producto
5	Necesidad de material

Tabla 3. Criterios de cercanía establecidos para la distribución

Después de haber establecido la fuerza de las relaciones entre las distintas áreas se procede a crear un diagrama relacional de recorridos y actividades (Figura 1). En esta representación sistemática se puede observar que las líneas rojas simbolizan una importancia absolutamente necesaria entre algunas áreas; las líneas amarillas reflejan un gran nivel de importancia entre las zonas y por últimos los trazos verdes representan relaciones importantes. En este caso, al no existir relaciones indeseables entre áreas, no se presenta líneas que prohíban alguna conexión. Las relaciones no necesarias y ordinarias no se especificaron por cuestiones de presentación del gráfico.

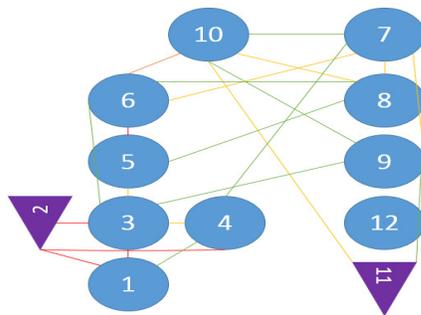


Figura 1. Diagrama relacional de recorridos y actividades

Partiendo del diagrama de relaciones y las áreas de cada zona presentadas en la tabla 4, se pasa a construir una distribución inicial de la empresa de Lácteos Buga (Figura 2).

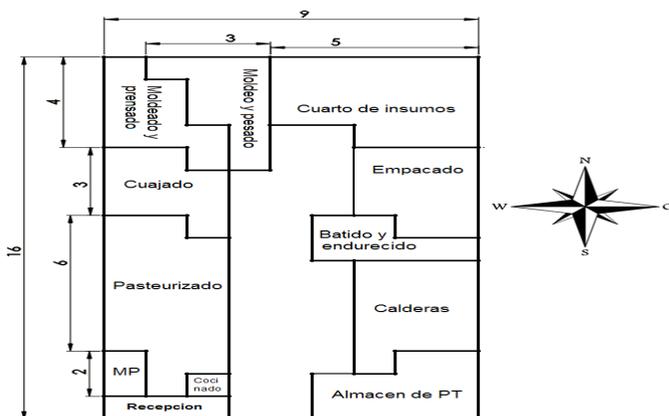


Figura 2. Distribución de la planta obtenida por la metodología SLP.

Para mejorar la distribución inicial obtenida por la metodología SLP se van a evaluar las técnicas CRAFT y QAP, para reducir la distancia recorrida por el material a través de cada una de las instalaciones de la planta.

Zona	Espacio ocupado (m²)
1-Recepcion, filtrado y descremado	3,36
2 –Almacenamiento de Materia Prima	2,33
3- Pasteurizado	20,16
4 –Cocido y cultivo de bacterias	0,56
5- Cuajado	9,68
6- Moldeado y prensado	8,75
7 –Cuarto de insumos	18,44
8- Empacado	10,84
9 –Batido y endurecido	5,43
10- Molde y pesado	8,4
11 –Almacenamiento de producto terminado	9,5
12- Calderas	12,72

Tabla 4. Áreas de las zonas definidas de la planta de lácteos

El método CRAFT comienza con el cálculo de los centroides de cada una de las zonas especificadas en la distribución inicial (figura 2). Una vez se tienen estos datos se calcula la distancia euclidiana entre los centroides y de esta forma se define una matriz de distancia, la cual se muestra en el anexo 5. Luego con la matriz de flujo y distancia se calcula una matriz de flujo por distancia (anexo 6) y se realiza una sumatoria para identificar cual es el total de material recorrido por distancia. Luego se identifican todos los posibles cambios entre zonas adyacentes y se cambian sus respectivos evidencias un mejor flujo por distancia y se pasa a hacer la respectiva modificación sobre la distribución inicial. Luego de esto se vuelven a calcular las distancias y se comprueba el valor de flujo por distancia obtenido con la nueva configuración: si es mejor, se sigue iterando el método; de lo contrario el algoritmo termina.

Área	Centroide	
	X	Y
1	1,5	0,5
2	0,5	2
3	1,5	5,3
4	2,5	1,5
5	1,5	9,2
6	1,3	13,4
7	6,7	14,2
8	7,6	9,1
9	6,7	7,8

10	2,9	14,1
11	7,2	1,3
12	7,4	4,3

Tabla 5. Centroides de las zonas del área de producción

Para el caso puntual de la planta productora de lácteos, la técnica CRAFT presentó tres cambios antes de parar la corrida de la simulación. Sin embargo, se elige la configuración elaborada en la primera iteración, ya que la segunda iteración implicaba mover el almacén de producto terminado y esto es poco viable debido a que es una zona fija y que necesita estar ubicada en ese lugar por su cercanía al punto de ventas de la compañía. La distribución mejorada con el método CRAFT obtuvo un flujo por distancia equivalente a 96.916; la configuración conseguida se presenta en la figura 3.

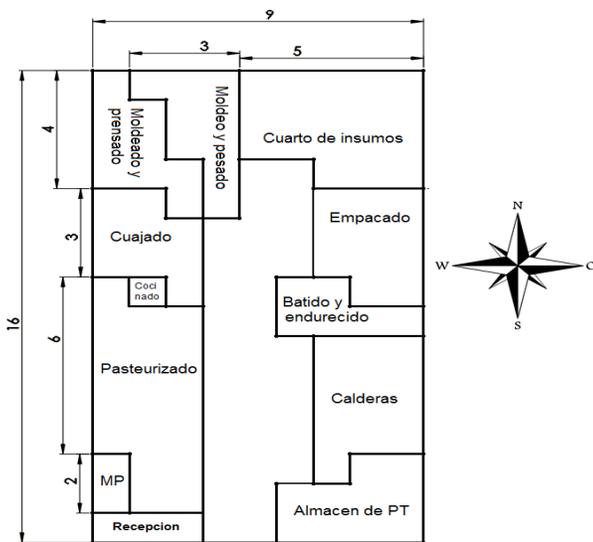


Figura 3. Distribución de la planta obtenida por la metodología CRAFT

Para la aplicación del método QAP se utilizó un algoritmo desarrollado en Excel y se obtuvo un flujo por distancia de 100.028, por lo cual este método no mejora la solución obtenida por la técnica CRAFT.

Una vez se ha encontrado una distribución adecuada para la planta productora de lácteos se pasa a definir las áreas de las zonas en la nueva distribución (tabla 6) y se calcula el indicador de aprovechamiento de recurso espacio

Zona	Área ocupada (m ²)
Recepción, filtrado y descremado	3
Almacenamiento de materia prima	2
Pasteurizado	20
Cuarto de insumo	18
Cocido y cultivo de bacterias	1
Calderas	13

Batido y endurecido	6
Cuajado	9
Moldeado y prensado	9
Empacado	11
Molde y pesado	9
Almacenamiento de producto terminado	10
Pasillos	13
Total	124

Tabla 6. Áreas de las zonas de la nueva distribución en planta

$$UEA = EOA / EAT$$

$$= 124 \text{ m}^2 / 129,87 \text{ m}^2$$

$$= 95,48\%$$

Con el nuevo indicador se puede observar cómo se pasa de tener una utilización del espacio del 92,43% a una utilización del 95,48%, debido al orden que se ha establecido en la planta mediante la demarcación de pasillos. Con la nueva distribución no se desaprovecha el recurso espacio que posee la planta y además el flujo del material y personal es más adecuado. Este aumento en la utilización del espacio, es debido a que se reasigno el espacio ocupado por algunos insumos en los pasillos a un lugar específico para su almacenaje, por lo cual se despejaron los pasillos. Con esta nueva distribución se asegura que el flujo de material y personal se disminuye, además los costos en los que incurre la compañía para la producción de lácteos también se ven reducidos.

Para medir el impacto que tiene la asignación de un almacén de materia prima se pasa a analizar cómo la leche que se dispone en dicho almacén (máximo 100 L por cada tres días) ayuda a mejorar la producción de aquellos ítems que se han dejado de elaborar tales como la mantequilla y el queso doble crema.

En la tabla 7 se puede observar la recuperación de las ventas pérdidas de mantequilla y queso, si el almacén permite tener la cantidad de leche necesaria para fabricar dichos productos, reflejado en el hecho de que se necesitan solo 65 litros de leche y el almacén puede almacenar hasta 100 litros. Se puede concluir entonces que la nueva distribución, al incluir un almacén de materia prima, permite reducir las ventas pérdidas del queso doble crema y la mantequilla.

	Litros
Leche disponible en el almacén de MP	100

Requerimiento de leche para el queso	30
Requerimiento de leche para la mantequilla	35
Requerimiento de leche totales	65

Tabla 7. Requerimientos de leche y mantequilla

Para determinar la factibilidad del proyecto de rediseño se utilizará el análisis costo-beneficio, ya que permite determinar la conveniencia de la nueva distribución con la valoración en términos monetarios de los beneficios y costos derivados de la nueva distribución de planta. En la tabla 8 se muestran los datos para el cálculo de la razón costo-beneficio.

ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO PARA EL AÑO 2015		
MES	BENEFICIOS	COSTOS
Enero	\$ -	\$ 4.058.300,0
Febrero	\$ 3.524.336,0	0
Marzo	\$ 3.524.336,0	0
Abril	\$ 3.524.336,0	0
Mayo	\$ 3.524.336,0	0
Junio	\$ 3.524.336,0	0
Julio	\$ 3.524.336,0	0
Agosto	\$ 3.524.336,0	0
Septiembre	\$ 3.524.336,0	0
Octubre	\$ 3.524.336,0	0
Noviembre	\$ 3.524.336,0	0
Diciembre	\$ 3.524.336,0	0
TOTAL	\$ 38.767.696,0	\$ 4.058.300,0

B/C	9,55
-----	------

Tabla 8. Razón costo – beneficio

Es por ello, que, de acuerdo a este criterio, se analiza que es viable que la empresa Lácteos Buga haga la inversión, debido a que los costos del rediseño son relativamente bajos, en comparación a los ingresos que se generarán, ya que su razón B/C fue de 9,55.

V. CONCLUSIONES

Después de realizado el estudio en la empresa productora de lácteos, se puede apreciar la gran importancia que representa una óptima distribución en una organización, ya que no solo se mejoran los flujos de materiales, personas e información, sino que automáticamente, se aumenta la productividad de la organización, se reducen costos, se mejora el nivel de servicio al cliente y se evita la accidentalidad de los operarios.

De igual forma, puede concluirse que después de realizarse las diferentes metodologías para rediseñar la planta productora de lácteos, tanto métodos cualitativos (SLP), como cuantitativos (CRAFT y QAP), se obtuvo que el mejor resultado, y el cual permitió la reducción del flujo de materiales y de personal fue mediante la metodología CRAFT, con un flujo de 96.916. Esta metodología se inició con base en el resultado obtenido con la metodología SLP por lo que se atribuye que este resultado es una mezcla entre un análisis cuantitativo y cualitativo, es decir, que se tienen en cuenta tanto las relaciones que son subjetivas para el analista, como aquellos resultados objetivos requeridos para una óptima distribución en planta.

REFERENCIAS

- [1]. Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., Palumbo, M., & Salini, P. (2015). Safety-based process plant layout using genetic algorithm. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 34, 139–150. <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.01.021>
- [2]. Han, K., Cho, S., & Yoon, E. S. (2013). Optimal Layout of a Chemical Process Plant to Minimize the Risk to Humans. *Procedia Computer Science*, 22, 1146–1155. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.201>
- [3]. Hui, L., & Shi-you, Q. (2013). Systematic layout planning: A study on coal mine facilities. *2013 International Conference on Management Science and Engineering 20th Annual Conference Proceedings*, 1944–1949. <http://doi.org/10.1109/ICMSE.2013.6586530>
- [4]. Li, Z. R., Qin, L., & Cao, Z. Q. (2012). Application of SLP Method in Design of Facilities Layout in Workshop. *Applied Mechanics and Materials*, 190-191, 28–32. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.190-191.28>
- [5]. Mejía, H., Wilches, M. J., Galofre, M., & Montenegro, Y. (2011). Aplicación de metodologías de distribución en planta para la configuración de un centro de distribución. *Scientia et Technica*, 3(49), 63–68.
- [6]. Mohamadghasemi, A., & Hadi-Vencheh, A. (2012). An integrated synthetic value of fuzzy judgments and nonlinear programming methodology for ranking the facility layout patterns. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 342–348. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2011.10.004>
- [7]. Prasad, N. H., Rajyalakshmi, G., & Reddy, a. S. (2014). A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT Algorithm. *Procedia Engineering*, 97, 1808–1814. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.334>
- [8]. Qian, X. W. (2013). The Application of SLP with Hungarian Method in the Spatial Layout Planning of Logistics Park-with Chengdu International Railway

- Container Logistics Park as an example. *Advanced Materials Research*, 838-841, 1273–1280. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.1273>
- [9]. Rahman, S. M. T., Salim, M. T., & Syeda, S. R. (2014). Facility Layout Optimization of an Ammonia Plant Based on Risk and Economic Analysis. *Procedia Engineering*, 90, 760–765. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.810>
- [10]. Rivera, L., Cardona, L., & Vásquez, L. (2012). Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones. *Sistemas & Telemática*, 10, 9–26.
- [11]. Salazar, A. F., Vargas, L. C., Añasco, C. E., & Orejuela, J. P. (2010). PROPUESTA DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA BIETAPA EN AMBIENTES DE MANUFACTURA FLEXIBLE. *Revista EIA*, 14, 161–175.
- [12]. Tarazona, G., Rodríguez, L., & Ochoa, J. (2014). Modelos de Optimización de la Distribución en Planta Optimization models in Layout. In *Novena conferencia ibérica de sistemas y tecnologías de la información* (pp. 1–6). Barcelona.
- [13]. Xu, J. H., Yang, H. B., Chen, Z. L., Mao, F. Y., & Wang, H. T. (2013). Layout Optimization for Welding Workshop of Vehicle Door Based on SLP. *Applied Mechanics and Materials*, 459, 356–360. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.459.356>

