

# Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos

Heidy Mejía Avila\*, Marjorie Galofre Vásquez\*\*

\* *Master of Science industrial engineering de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, Ingeniero industrial de la Universidad Autónoma del Caribe, Profesor de Tiempo completo del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma del Caribe, Grupo de investigación Gestión moderna de operaciones, Universidad Autónoma del Caribe, hmejia@uac.edu.co.*

\*\* *Candidato a Master of Science en ingeniería industrial de la Universidad del Norte, Ingeniero industrial de la Universidad Autónoma del Caribe, Profesor de Tiempo completo del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma del Caribe, Grupo de investigación Gestión moderna de operaciones, Universidad Autónoma del Caribe. Marjorie.galofre@uac.edu.co*

## RESUMEN

Este documento presenta un caso estudio para la redistribución de planta en una empresa del sector alimenticio, específicamente en el subsector de panadería de la ciudad de Barranquilla, el cual incorporó la utilización de la simulación como herramienta de apoyo en la toma de decisiones. Inicialmente se efectuó el diagnóstico de la situación inicial de la empresa analizando los factores que influyen en la distribución de planta; con base en estos criterios se identificó la problemática y se crearon varias alternativas de solución, las cuales se evaluaron por medio de un análisis Costo-Beneficio y un análisis Carga – Distancia, para así seleccionar la mejor; en el software de simulación Arena 10.0 Trading Mode se realizó la corrida de los modelos de la distribución actual y de la distribución propuesta, se comparó el desempeño de cada uno de estos modelos y se observó que la nueva distribución mejoró los criterios de tiempo de espera, unidades en el sistema y utilización de recursos.

**Palabras Clave:** diseño, rediseño, planta de producción, simulación, software, sector de alimentos.

## ABSTRACT

In this paper a plant redistribution study case in a business of the sector of food is presented, specifically in the subsector of bakery of the city of Barranquilla, in which the utilization of the simulation was incorporated like tool of support in it takes of decisions, initially was performed the I diagnose of the initial situation of the business analyzing the factors that influence the distribution of he plants, in base to these criteria he was identified the problems and several alternatives of solution were created, which they were evaluated through an analysis Cost-Benefit and an analysis Charges – Distance, for thus select the best; in the simulation software Arena 10.0 Trading Mode the race of the models of the current distribution and of the proposed distribution was carried out, the performance of each one was compared of these models and was observed that the new distribution improved the wait time criteria, units in the system and utilization of resources

**Key words:** design, redesign, plant of production, simulation, software, food sector.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el uso de los modelos de simulación para el análisis de sistemas complejos, lo que ha generado la proliferación tanto

como de lenguajes de Simulación como de libros de texto que faciliten el aprendizaje de los mismos [1]. Los software de simulación han sido aplicados para modelar Sistemas dinámicos Complejos que no son posibles mediante otros métodos estocásticos, por su

versatilidad y la posibilidad de experimentar con diferentes opciones sin que esto represente un alto costo o una violación de la realidad; además de la facilidad de interpretación de resultados sin conocimientos previos, lo cual representa una herramienta poderosa en la toma de decisiones en las empresas de todo tipo y en donde sus líderes pueden manejar o no este tipo de instrumentos.

El Rediseño de instalaciones de producción, es un proceso que toda empresa en desarrollo y que pretenda estar acorde con las tecnologías y métodos actuales debe adoptar, pues la integración de un nuevo proceso o una nueva maquinaria alterarán una disposición existente. Con los rápidos cambios en las técnicas y el equipo de producción que han ocurrido en el pasado reciente y que se esperan en el futuro, muy pocas empresas podrán conservar sus instalaciones antiguas sin dañar severamente su posición competitiva en el mercado. [2] Entonces, es el Diseño o Rediseño de las instalaciones una decisión más que los dirigentes de las compañías deben tener en su cúmulo de funciones, si quieren mantenerlas eficaces y eficientes.

Este documento inicia con la fundamentación teórica referente a distribución de planta y simulación; posteriormente se presenta el planteamiento del problema, a través de las generalidades del sector de alimentos y desarrollando la problemática inicial; en la siguiente sección se desarrolla el estudio con la generación de alternativas, los parámetro de simulación y la simulación propiamente dicha de la distribución actual y la distribución propuesta, con sus respectivos modelos lógicos; finalmente se presenta el análisis de resultados y las conclusiones del estudio.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las ordenaciones o distribuciones de las áreas de trabajo, es una tarea muy antigua que nació con el hombre mismo. Las primeras distribuciones las realizaban los arquitectos quienes eran los encargados de proyectar el edificio [3]. Actualmente el diseño o rediseño de las áreas de trabajo son realizadas por expertos, que lo hacen en forma planificada y con un enfoque científico y práctico, lo cual implica un análisis objetivo con cálculos basados en verdades o hechos reales. En la planificación de la distribución todos los detalles son importantes, por esta razón es vital realizar un estudio exhaustivo de todos los factores tanto internos como externos que afectan a la planta o área de trabajo. Una vez identificado el problema a solucionar es necesario que se utilice un procedimiento para la generación de las alternativas, por ejemplo, Richard Muther, propone el proceso sistemático de la distribución en planta [4] el cual se utilizó en esta investigación. Este se inicia teniendo en cuenta como dato de entrada el producto, cantidad de artículos o servicios producidos, el itine-

rario o pasos de fabricación, los servicios de apoyo y tiempo de producción; con estos datos iniciales y el flujo de los materiales, se establecen las relaciones existentes entre las actividades. Cuando se conocen claramente las relaciones existentes entre cada departamento se procede a determinar las necesidades de espacio que cada uno de estos requiere y se tiene en cuenta las limitaciones de la edificación y entonces se procede a la generación de las alternativas.

En la etapa de diseño de las alternativas, se recomienda generar más de dos alternativas para tener un abanico de opciones que le permita a los evaluadores de estas seleccionar la mejor y aquella alternativa que cumpla con todos los principios básicos de la distribución de planta establecido por Richard Muther, [3] como son:

- Principio de la Integración de Conjunto
- Principio de la Mínima Distancia Recorrida
- Principio de la Circulación
- Principio del Espacio Cúbico
- Principio de Satisfacción y Seguridad
- Principio de flexibilidad

**Figura1.** Principios Básicos de la Distribución de Planta. Elaboración propia basada en Muther 1973.



Como se puede observar en la figura 1, se requiere que en el diseño o rediseño de una instalación, sea de servicios y/o de producción, estén inmersos todos y cada uno de estos principios con el fin de garantizarle a los usuarios de esta los requisitos mínimos para alcanzar de una manera efectiva los objetivos establecidos por la empresa. Sin embargo no se debe dejar de lado los aspectos y problemas por los cuales se hizo necesario el diseño o rediseño de la planta.

El uso de herramientas para la visualización o presentación de las alternativas de distribución, como pla-

nos, dibujos, planos y maquetas han sido utilizados por años para vender el plan de la distribución a los directivos de la empresa. En la actualidad el uso de software de simulación se ha incrementado notablemente que brinda un apoyo a los expertos tanto para probar la factibilidad del sistema propuesto como para comprender y predecir el comportamiento del sistema.

La simulación es una poderosa herramienta que involucra el desarrollar del modelo del sistema y la experimentación para determinar como reacciona el sistema ante diversas condiciones. Los modelos de simulación ofrecen un gran número de ventajas, entre las más importantes tenemos [6]:

- ❖ Para entrar a crear un modelo de simulación se necesita de comprender y documentar en forma detallada el comportamiento del proceso que se simula.
- ❖ Construcción de variables que interfieren en el proceso, de acuerdo con la conducta observada.
- ❖ Probar la factibilidad del sistema propuesto.
- ❖ El uso del modelo permite predecir el comportamiento futuro, los efectos producidos por cambios en el sistema; sin incurrir en ningún costo.
- ❖ Permite proporcionar a los empleados y directivos orientación acerca de los nuevos sistemas propuestos.

La simulación moderna maneja situaciones que describen el contexto y además es un experimento estadístico y en consecuencia sus resultados se deben interpretar de esta manera. En definitiva, los empresarios confían con mas facilidad en modelos que simulen la realidad construidos a partir de parámetros y formulas fácilmente identificables dentro del sistema real, que en modelos matemáticos que con toda seguridad, pueden ofrecer la misma o mejor calidad en las conclusiones, pero que resultan más complicados de entender y necesitan de un conocimiento previo en la materia [7]. En esta investigación se utilizó el software de simulación ARENA (Rockwell Software), aunque este software no es nuevo en el mercado, sigue siendo desconocido para muchos empresarios o carecen del personal calificado para utilizarlo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

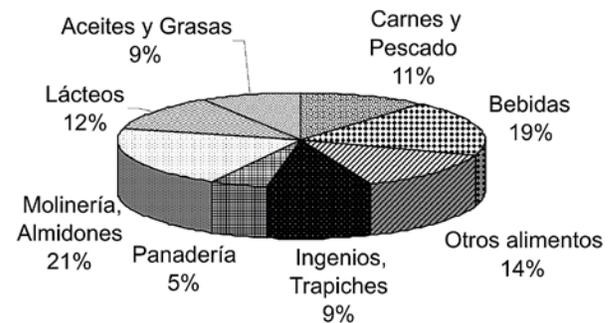
A continuación se presentan algunas generalidades del sector de alimentos y del subsector panadería específicamente para Colombia y posteriormente se muestra la problemática inicial encontrada en la empresa en cuestión.

## Generalidades del sector de alimentos

Según la CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme ) Rev.3 adaptada para Colombia, la producción de alimentos y bebidas incluye: transformación y conservación de carnes y pescado, elaboración de aceites, transformación de frutas, verduras y hortalizas, productos lácteos, molinería, almidones y productos preparados para animales, productos de panadería, macarrones y productos farináceos similares, ingenios azucareros y trapiches, producción de otros productos alimenticios y elaboración de bebidas [8].

Durante el año 2007, la elaboración y venta de productos de molinería y almidones, bebidas, otros productos alimenticios y lácteos, concentraron el 65,25% del total de la fabricación de alimentos y bebidas en el país. [9]

**Figura 2.** Distribución porcentual de la fabricación de alimentos y bebidas (enero – diciembre de 2007). Tomado de Boletín especial, DANE, muestra mensual manufacturera, Bogotá, D. C., 10 de marzo de 2008.



Es posible observar que, el subsector de panadería representa un 5.3% del porcentaje total de producción del sector de alimentos, siendo este el porcentaje más bajo; el origen de esta situación podría generarse por que este tipo de empresas, generalmente inician como negocios familiares y su crecimiento depende de la acogida de estas en el mercado, así mismo, la expansión se hace de manera desorganizada, colocando las nuevas maquinarias, equipos, estaciones de trabajo y demás en sitios donde exista el espacio físico, sin tener en cuenta las necesidades del proceso.

## Problemática inicial

La empresa que se ha tomado como referencia para este estudio, nació como un negocio casero donde se producían galletas y pudines para los amigos y allegados, pero debido a los requerimientos exigidos por el mercado, la empresa incrementó su fuerza laboral y la maquinaria necesaria para la realización de nuevos procesos de producción sin tener en cuenta la disposición más apropiada para cada uno de los departamentos de producción. Debido a la inadecuada administración del espacio disponible, se ha ocasionado un

gran número de conflictos al momento de realizar los procesos.

Entre los principales problemas que se observan en el proceso productivo se pueden mencionar:

- Desde sus inicios no se ha realizado ninguna modificación a las condiciones físicas de la planta.
- Las áreas se hayan equis distantes una de otra lo que ocasiona que los operarios tengan que dirigirse a otras zonas en busca de herramientas e Instrumentos de trabajo originando congestión en el tránsito del personal.
- La falta de organización de las herramientas de trabajo
- El recorrido entre las zonas de producción y almacenamiento es extenso, por e4sta razón los tiempos de producción se ven alterados.
- Entregas al cliente después del tiempo establecido.
- Deficiencias en la planeación de la materia prima necesaria para la producción.
- Las condiciones físicas deben ser adecuadas con las especificaciones de las BPM (Buenas Prácticas de Manufactura).
- Falta de equipos de dotación para los empleados.
- No existe control sobre la materia prima utilizada en producción.
- Elevada fuerza de trabajo que genera tiempos ociosos y un aumento en los costos de producción.
- Existencia de factores de riesgo ocupacionales y profesionales debido a la necesidad de hornos, estufas y cuartos fríos dentro de la planta de producción.
- Necesidad de ubicar y mejorar un lugar apropiado para el almacenamiento de residuos por lo que son abandonados en el corredor principal.

Se analiza que la distribución existente en la empresa no cumple con los principios de la distribución de planta y presenta muchas deficiencias que no garantizan la seguridad y satisfacción de los empleados y la calidad de los productos realizados.

## DESARROLLO DEL ESTUDIO

En referencia al estudio, se realizó un diagnóstico de las diferentes áreas de trabajo teniendo en cuenta las personas, la maquinaria, el equipo, la ubicación, las condiciones de trabajo, de manera que se analizara las formas con las que se pueden aumentar los niveles de productividad.

Así mismo, se evaluó la distribución actual de la empresa teniendo en cuenta las especificaciones de las BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), para implementar las mejoras en el diseño propuesto. Se efectuó un estudio tiempos y movimientos, para identificar los cuellos de botella del proceso y poder así plantear

opciones de mejoramiento. Finalmente se utilizaron técnicas de modelación de procesos computacionales con el fin de mostrar de una manera dinámica la diferencia entre el diseño actual y el propuesto.

### Generación de Alternativas

En el caso de estudio, se generaron una serie de alternativas donde se consideró simultáneamente los factores que afectan el diseño de planta, el cumplimiento de los principios básicos de la distribución, la productividad, las BPM y el flujo del proceso. En aras de la practicidad, se confrontaron las alternativas generadas y se realizó un análisis Costo-Beneficio y un análisis Carga – Distancia, con el fin de elegir la alternativa más cercana a la óptima y así compararla con la distribución actual de la empresa.

### Parámetros de la Simulación

Para realizar la simulación de los procesos que se realizan en la empresa se definieron ciertos aspectos que son de vital importancia para poder mostrar de la manera más real el comportamiento de la planta. Entre los aspectos que debemos tener en cuenta son:

- **El programa a utilizar.** En este caso se eligió ARENA 10.0 Trading Mode, dado que, es el recurso disponible y más accesible. ARENA combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación y recorre todo el camino hacia abajo de los lenguajes de procesamiento de propósito general como el sistema de programación Microsoft, Visual Basic o C. [10]
- **Los procesos a ser simulados.** Se seleccionaron las tres líneas de productos con mayor porcentaje de venta anual de la empresa, como se puede observar en la Tabla 1, debido a que ARENA 10.0 es una versión de evaluación y no permite ingresar más de 150 entidades en el sistema que se pretende simular.

**Tabla 1.** Resumen de Líneas de Productos con mayor porcentaje de ventas.

LÍNEA DE PRODUCTOS	CANTIDADES ANUALES	INGRESOS POR VENTA	PORCENTAJE
Pastelería	509.163	\$ 367.683.010	49%
Hojaldre	23.282	\$ 306.128.450	41%
Pudines	70.859	\$ 73.709.350	10%
<b>TOTAL</b>	<b>603.304</b>	<b>\$ 747.520.810</b>	<b>100%</b>

Recursos a Utilizar. Para la realización de la simulación se utilizaron los recursos que se encuentran disponibles en cada una de las áreas de estudio, tal como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Resumen de Recursos disponibles por Línea de Productos.

LÍNEA DE PRODUCTOS	PERSONAS	HORNOS	ESTUFAS	BATIDORAS
Pastelería hojaldre	10	4	0	0
Pudines	4	4	0	6
Decoración	8	0	0	1
Quibbes	1	0	1	0

- **Capacidad de la Maquinaria Utilizada.** En la planta de producción se tiene maquinaria de diferentes capacidades, las cuales se muestran a continuación.

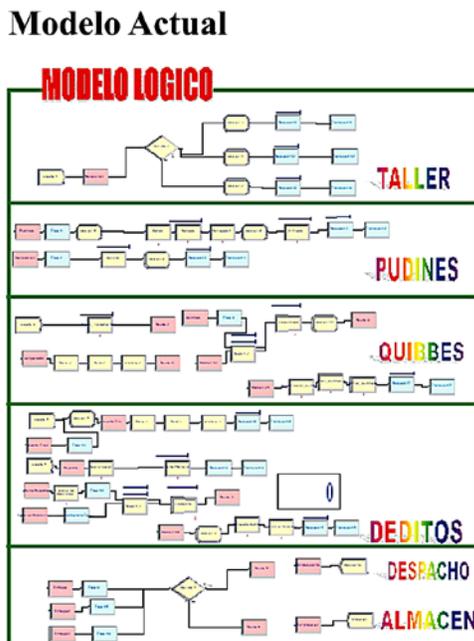
**Tabla 3.** Resumen de Capacidad de maquinaria por Línea de Productos.

LÍNEA DE PRODUCTOS	HORNOS O ESTUFAS	BATIDORAS
Pastelería hojaldre	32 latas (320 unidades)	8 libras (30 unidades)
Pudines	168 Pudines	45 Libras (45 pudines)
Decoración	0	8 Libras (100 unidades)
Quibbes	60 Quibbes	0

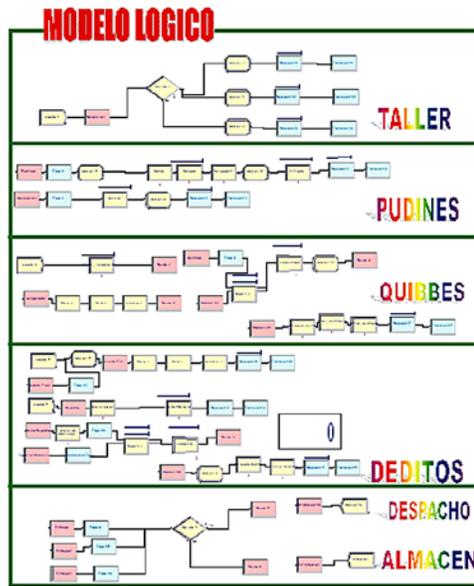
**Simulación**

En esta sección se presenta la simulación actual de la empresa y la alternativa propuesta bajo los criterios anteriormente mencionados. En la figura 3 se muestra el modelo lógico de la simulación, ya que el cambio para la propuesta seleccionada se centra en rutas y distancias, mas no en el proceso en sí.

**Figura 3.** Modelo Lógico de Simulación.



**Modelo Actual**



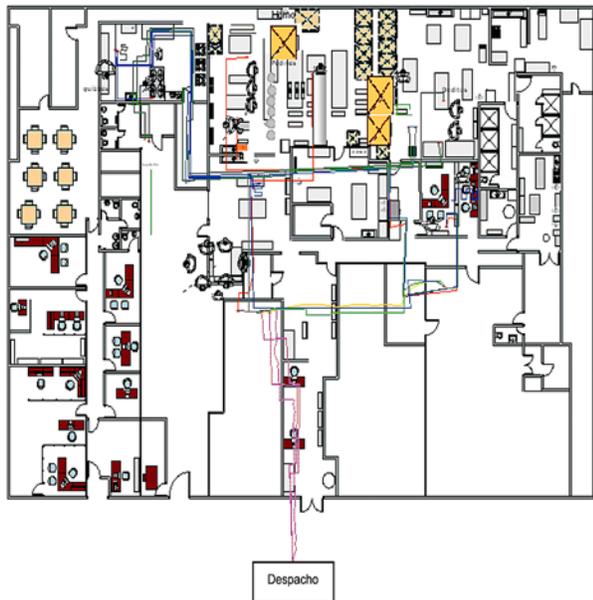
**Simulación de la distribución actual**

La actual planta de producción que posee la empresa se encuentra afectada por las decisiones que fueron tomadas en el pasado, las cuales no contemplaron desde un punto de vista funcional y estratégico cuál era la ubicación más apropiada para cada uno de los departamentos de producción. En ese sentido, a medida que el mercado les exigía, la empresa fue aumentando tanto su fuerza laboral como la maquinaria esencial para la realización de nuevos procesos, situación que sólo ha dejado una inadecuada administración del espacio y una serie de problemas como lo son:

- Ubicación de estufas al lado de cuartos fríos
- Zona de postres dividida en tres secciones lo que ocasiona que los operarios se tengan que trasladar de su puesto de trabajo.
- Desperdicios sólidos situados en uno de los corredores principales.
- Actividades estacionadas cerca de los hornos, lo que disminuye el nivel de rendimiento de los trabajadores y del producto, debido al calor que se genera.
- El espacio con el que se cuenta para transitar es reducido, es decir hay lugares en donde dos personas no pueden transitar al tiempo.
- Zonas de almacenamiento distantes de algunos puestos de trabajo.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de simulación de la situación actual de la empresa, con los recorridos de cada uno de sus productos.

**Figura 4.** Simulación actual.



**Simulación de la distribución propuesta**

En la figura 5 se presenta el diagrama de la simulación propuesta, la cual es una reestructuración hacia la distribución ideal de las instalaciones de la empresa; que posee una gran restricción de espacio para ampliaciones. Debido a lo anterior, se estudió la posibilidad de ubicar toda la zona administrativa hacia una planta superior de la empresa y de esta forma obtener el espacio necesario para ampliar las áreas de la planta de producción y al mismo tiempo mejorar los servicios que se le prestan al personal, entre los que cabe mencionar la adecuación de un área de descanso, mejoramiento del comedor y de los baños de los empleados.

Además se tuvo en cuenta que la gran mayoría de productos son almacenados temporalmente en los cuartos fríos, por lo que estos fueron ubicados en el centro de la planta para que todos los procesos productivos sean ubicados en su entorno y de esta forma reducir los recorridos realizados por los empleados.

Por otra parte se agrega una persona quien va a estar encargada de manejar el inventario de productos terminados y productos en proceso. Se ubicaron las áreas de calor y de frío lo más lejos posible, la una de la otra de manera que no afecten la calidad de los productos realizados.

Por medio de esta distribución se va a optimizar la utilización del factor hombre, por lo que se van a reducir los tiempos ociosos y de esta forma se observara si la cantidad de personal con que se cuenta es el más apropiado para el funcionamiento óptimo de la planta.

**Figura 5.** Simulación propuesta.



**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez corridos los modelos en el software de Arena, del cual se generan los resultados, se realiza el análisis acerca del comportamiento de las variables establecidas en dicho modelos. Las variables a estudiar son: unidades entrantes, unidades salientes, tiempos promedio de unidades en espera, promedio de unidades en espera y la utilización de los recursos.

En la tabla 4 se presenta el cuadro comparativo de las unidades en el sistema, tanto para el estado actual como para el diseño propuesto y se puede observar que la cantidad de deditos que ingresa al sistema en la distribución actual es 74, de pudín 40 y de quibbe 28; en la distribución propuesta las cantidades entrantes son 84 deditos, 35 pudín y 30 quibbe; analizando ahora las salidas del sistema, para la distribución actual se tiene 72 deditos, 24 pudín y 24 quibbe y en la distribución propuesta salen 80 deditos, 36 pudín y 30 quibbe del sistema, evidenciando que la distribución propuesta permite mayores entradas al sistema, esto debido a que las distancias recorridas en la planta son mas cortas, no hay retrocesos y el producto fluye mejor a través de la línea de producción, presentando mayor porcentaje de salidas en la distribución propuesta.

**Tabla 4.** Cuadro comparativo de Unidades en el sistema

DIST. ACTUAL		DIST. PROPUESTA		
Unidades entrantes	Unidades salientes	Unidades entrantes	Unidades salientes	
Dedito	74	72	84	80
Pudín	40	24	35	26
Quibbe	28	24	30	30
Total	142	120	149	136

En la tabla 5 se observa la comparación de la cantidad de unidades de producto en espera y el tiempo en espera, para algunas actividades del proceso en el estado actual y para el diseño propuesto. En el diseño propuesto el tiempo de espera promedio es de 0.40 min. y las unidades en espera promedio son 0.01 unid. para el proceso de batido; en la distribución actual el tiempo de espera promedio es de 1.57 min. y las unidades en espera promedio son 0.04 unid., presentando el modelo propuesto un promedio inferior al actual; así mismo en los otros procesos presentados en la tabla.

**Tabla 5.** Cuadro comparativo del tiempo de espera

ACTUAL		PROPUESTA		
Tiempo de espera Promedio en min.	Unidades en espera (promedio)	Tiempo de espera Promedio en min.	Unidades en espera (promedio)	
Batido	1.57	0.04	0.40	0.01
Corte y relleno	152.12	1.06	165.43	1.15
Molida	283.35	4.14	136.40	2.37
Total	437.04	5.24	302.23	3.53

En la tabla 6 se muestra el cuadro comparativo del porcentaje de utilización de los recursos en el sistema, tanto para la distribución actual como para la distribución propuesta, los recursos que mejoraron su utilización fueron: batidora, operario quibbe 1, operario pudín, operario horno y operario decoración y los recursos horno y estufa tuvieron un decremento mínimo; por lo que en general, el porcentaje de utilización es mejor en la distribución propuesta.

**Tabla 6.** Cuadro comparativo del porcentaje de utilización de los recursos.

Porcentaje de utilización de recursos distribución actual	Porcentaje de utilización de recursos distribución propuesta	
Horno	1.47	1.13
Batidora	13.99	16.55
Estufa	2.70	2.28
Operario ensamble	50.32	35.96
Operario quibbe 1	42.77	47.21
Operario quibbe 2	16.24	-
Operario pudín	36.96	46.31
Operario horno	-	95.45
Operario decoración	0.75	0.93
Total	165.2	245.82

## CONCLUSIONES

En la mayoría de empresas del sector de alimentos y en especial en el subsector panadería, los procesos que se realizan e incluso las decisiones que se toman para modificar o ejecutar cambios en las diferentes áreas de tra-

bajo se hacen de manera empírica, situación que genera la mayoría de los problemas de ubicación dentro de cualquier planta y trae consigo la pérdida de dinero.

Analizando los reportes estadísticos arrojados por el software Arena 10.0 Trading Mode, es posible observar que al realizar cambios en la distribución de planta, los tiempos de espera y las unidades en el sistema disminuyen, por lo que se afirma que el diseño propuesto es una buena opción para una nueva redistribución. Cabe a notar que entre más alternativas o modelos se diseñen para solucionar el problema de distribución, se amplía el espectro para la toma de decisiones.

Para finalizar, cabe anotar que la simulación es una herramienta que beneficia el quehacer de los ingenieros, puesto que permite predecir el comportamiento del sistema de producción en donde particularmente muestra las ventajas e inconvenientes de una posible redistribución, disminuyendo así la incertidumbre generada ante los posibles cambios. Además arroja datos estadísticos sobre el comportamiento de las variables que influyen en el proceso ante posibles modificaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pegden, C., Shanon, R and Sadowski, R., *Introduction to Simulation using SIMAN*, Mc Graw-Hill, Inc, United State of America, 1995.
- [2] Tompking, J., White, J., Bozer, Y., Tanchoco, J., *Facilities Planning*, Jhon Wiley & Sons, INC, United State of America, 2003.
- [3] Muther, R., *Distribución en Planta*, Mc Graw-Hill, Inc, Barcelona-España, 1977.
- [4] Konz, S., *Diseño de Instalaciones Industriales*, Limusa S.A, México, 2005.
- [5] Tompking, J., White, J., Bozer, Y., Tanchoco, J., *Facilities Planning*, Jhon Wiley & Sons, INC, United State of America, 2003
- [7] Taha, H., Meza, G., Cruz, R., González V., *Investigación de Operaciones: Una investigación*, Pearson Education, México, 2004.
- [8] Rodríguez A., Sampere, F., Poler, R., Utilización de la simulación para el rediseño de montaje y zona de expedición de una PYME (Aux. Sector del Calzado), II conferencia de Ingeniería de Organización, Vigo, septiembre 5-6 de 2002.
- [9] Boletín especial, DANE, muestra mensual manufacturera, Bogotá, D. C., 10 de marzo de 2008.
- [10] Kelton, W., Sadowski, R., Sturrock, D., Simulación con Arena, Mc Graw - Hill, Mexico, 2008.