



Facultad de Ingeniería
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Grado – Segundo Semestre 2018

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

[181035] Rediseño de la distribución de planta aplicado a

ISOPLASTICOS S.A.S.

Daniel Fernando Escobar Vargas ^{a, c}, Pablo Andrés Peñaranda Suárez ^{a, c}, José Miguel Tamy Roperó ^{a, c},

Oriana Rocío Cendales Reyes ^{b, c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

The purpose of this [research](#) is to solve an engineering problem by designing an adjustable solution for other similar conditions. The chosen situation was the layout redistribution of an injection and blow molding company, called ISOPLASTICOS S.A.S. which is currently in an accelerated growth addressed by its main client. In order to solve this problem, a solution methodology was designed based on the theories of the SLP, Systematic Layout Planning. The methodology DMAIC was used as the way to approach the problem.

The proposed design began with the data collection of the company's current situation. In order to achieve this, it was necessary to carry out a previous analysis of the variables that were going to be used, and then, to define how they were going to be represented. To illustrate these variables, they were summarized by using Pareto's principle to group the products that produced 80% of the company's income. After targeting these products, they were grouped together which ended in 11 products under study. The next step was taking the variables and represent the actual layout. The methodologies chosen were OTIDA diagrams, processes and flowcharts based on the problem's needs. Once the data collection was completed, the initial situation was simulated using FlexSim®, a specialized software.

This scenario showed many improvement opportunities that were addressed with the SLP methodology. The first step was to compute an analysis of the demand in order to estimate the area requirements. After done that, the second step was to determine if the current localization of the company was the most favorable. Through an analysis it was determined that the current position benefits the company, although in the long term an expansion would be required. Subsequently an analysis of the positioning of the critical areas of the company was made. This analysis showed the inefficiency of the actual situation, opening the door to implement different methodologies to address the solution.

The analysis started with a space relationship diagram, which ended in a feasible layout that was later studied. Analyzing the methodology used, it was concluded as subjective and it distributed the spaces based on qualitative attributes. Therefore, a more robust tool was required that assigned the areas based on quantitative data. The tool chosen was ABSMODEL2, a non-linear mathematical heuristic that gave a second approach to the distribution of space that would be simulated. Due to the robustness of the previous tool, it was not feasible to assign each machine as an area itself, so they were grouped as injection and blow molding areas. Since an optimal distribution would not be obtained (Heragu, 2008), a variant of the ABSMODEL2 was required.

Therefore, an algorithm was designed based on the initial programming. This new heuristic involved the double application of ABSMODEL2, determining the location of the machines inside the original area. Its final result was a layout that was submitted to a study. One of the solutions of the three models was chosen, taking into account different variables such as the transfer of machines and the layout of the electrical, pneumatic and hydraulic installations. Subsequently, a design of the

distribution of work spaces was carried out in the different areas. This design was based on OHSAS 18001 (BSI, 2018) industrial standards.

This model was later subjected to a financial analysis that determined its feasibility. For the exercise and the measurement of this impact, the net present value was used to see the return on investment at zero moment. The internal rate of return was also used to calculate the expected return on investment and the strengthen of the previous indicator. It is worth mentioning that in order to obtain these estimates, it was necessary to calculate the weight average cost of capital of the company based on the financial statements of the same aggregate business period.

The result of the study was an efficient layout distribution that improved the performance indicators of the company, the quality of its production and the company's perception on the market. As a consequence, ISOPLASTICOS implemented in the last semester some of the suggested solutions such as using some of the proposed architectural improvement, acquiring a new machine and freeing an area on the second floor for storage.

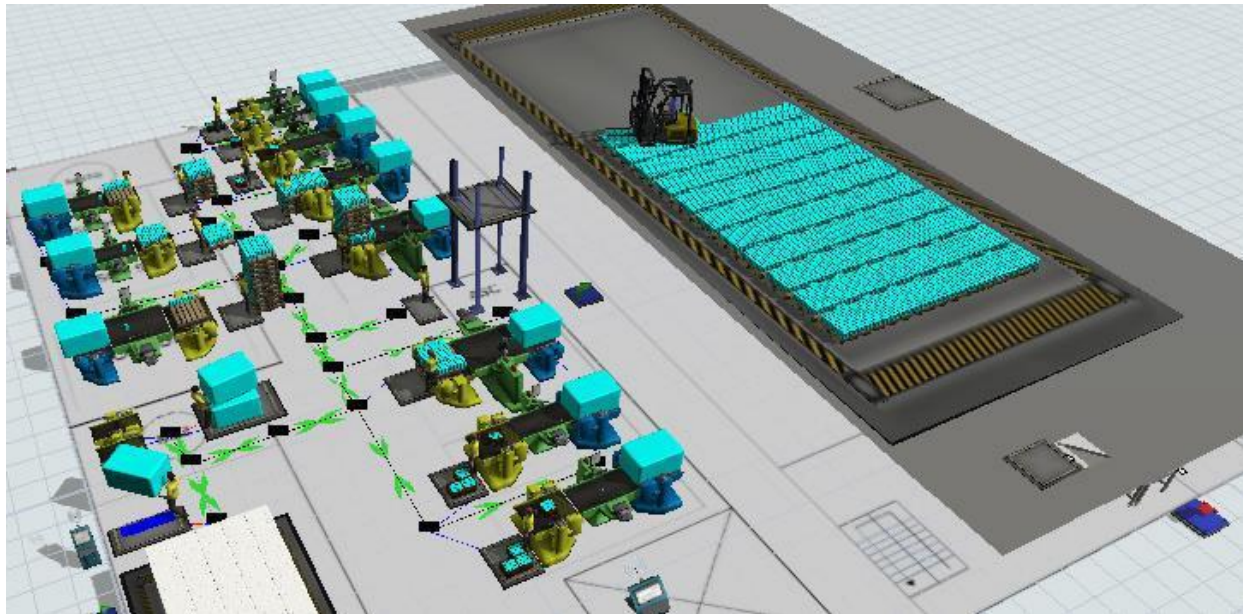


Image 1. Final layout proposal simulation

Keywords: Layout redistribution, Injection, blow molding, plastics, SLP, DMAIC, Simulation, Heuristic, ABSMODEL2.

1. Justificación y planteamiento del problema

Analizar y trabajar en el layout, entendiéndolo como la disposición física de todos los elementos dentro de la empresa, representa una gran mejora en la eficiencia, productividad y seguridad para la misma. Es por eso que al realizar una correcta planeación se minimizan los costos asociados a la producción, así como el riesgo de accidentes (Gosende, 2016). Existe una numerosa cantidad de problemas y costos ocultos asociados a un layout sin ningún tipo de planeación. Dentro de estos problemas se pueden encontrar desplazamientos innecesarios de materiales, desgaste adicional del personal, gastos excesivos de tiempos y de energía. Esto ocasiona que se presenten desperdicios y reprocesos, y un mayor riesgo de sufrir accidentes o lesiones (Gorra, 2008).

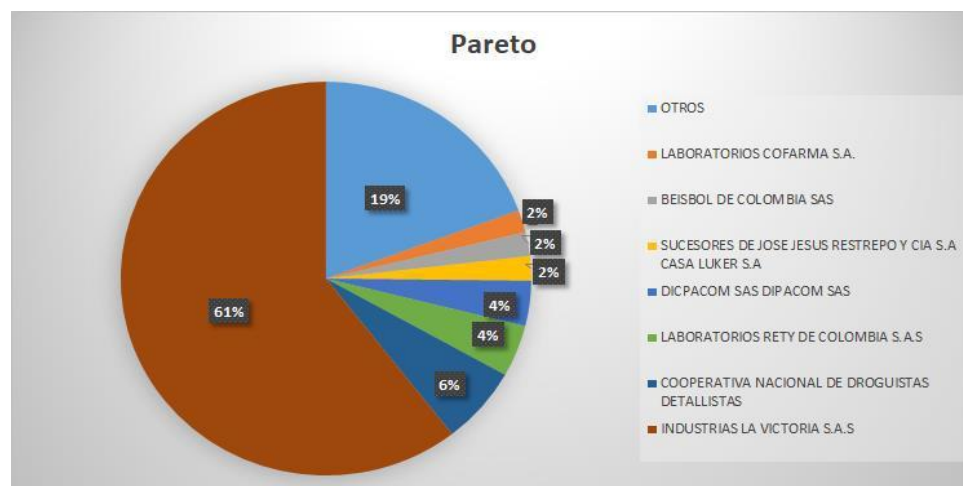
Por lo anteriormente mencionado, aplicar una distribución de planta es un estudio pertinente para solucionar problemas de flujo de producto y de personal, que aumenta la productividad y mejora los indicadores de cumplimiento. Al aplicar una planeación de layout se puede hallar un orden adecuado de las áreas de trabajo y de la maquinaria existente, generando que todo el proceso se pueda realizar de una manera más eficiente; disminuyendo los movimientos innecesarios, mejorando los flujos de personal y materiales, y optimizando el almacenamiento (Gómez, C. 2013). Además, al realizar un rediseño de planta en una empresa manufacturera, se

minimiza el costo de manejo de personal y se provee, al mismo tiempo, un ambiente seguro de trabajo para los empleados (Heragu, 2008).

La distribución de planta se ha utilizado para solucionar diferentes problemas en distintos tipos de empresas. En el caso aplicado de Martínez, Trujillo, Ávila, Sánchez (2012), se identifican problemas de diseño de planta ya que no existe una organización efectiva, lo que genera una mala utilización del espacio disponible y costos ocultos. Otro escenario aplicado de un problema de layout, es el planteado por Paredes, Peláez, Chud. (2016). La principal falla que se identificó es que la planta fue diseñada para fabricar un solo producto. Esto produjo que la empresa, al aumentar su portafolio, tuviese una insuficiencia de espacios y recorridos innecesarios, que desembocaban en problemas de almacenamiento.

El caso de estudio propuesto se desarrollará en ISOPLASTICOS S.A.S. Esta empresa cuenta con clientes estables y una producción en aumento (Anexo 1). Analizando la situación económica nacional, se encontró un crecimiento en la actividad del sector de plásticos. Según Procolombia 2016, “Las ventas de empaques plásticos superaron los 29.000 millones de unidades y se estima que a 2019 las ventas superen los 32.000 millones de unidades”. Este aumento en la producción se ha visto reflejado en empresas dedicadas a la fabricación de envases plásticos como ISOPLASTICOS S.A.S. Adicional al crecimiento en este sector, la firma Koba, propietarios de la cadena D1, muestra un aumento de ventas de 30% para el 2017 (Valorem 2017) y se estima que siga en crecimiento. Una de las marcas de elementos de aseo que se incluyen en el grupo de artículos principales es Bona Ropa, cuyo envase es fabricado por ISOPLASTICOS S.A.S. para INDUSTRIAS LA VICTORIA S.A.S.

Para validar el efecto de la economía en la compañía, se realizó un estudio a datos de demanda proporcionados por la gerencia, donde se guardan las compras por cliente desde enero de 2017 hasta marzo de 2018. Con el objetivo de determinar sus compradores más importantes, se realizó un Diagrama de Pareto, en donde se encontró que sólo 7 de sus compradores generaban el 80,5% de sus ventas. En la siguiente gráfica se puede apreciar los principales compradores de la empresa y sus porcentajes de participación en ventas.



Gráfica 1: Clientes principales ISOPLASTICOS S.A.S

Durante el análisis de las ventas se pudo identificar a INDUSTRIAS LA VICTORIA S.A.S. como el mayor comprador de ISOPLASTICOS S.A.S. (con el 60,5% de las ventas totales).

Industrias La Victoria es la empresa encargada de abastecer algunos de los productos de aseo y limpieza para el hogar que comercializa la cadena D1 (Anexo 1). Para mostrar su relación se creó una regresión lineal de los últimos 14 periodos de estudio y se encontró que tenían pendientes similares.



Gráfica 2: Ventas de ISOPLASTICOS S.A.S vs compras de INDUSTRIAS LA VICTORIA - Enero/2017 a Febrero/2018.

Este comportamiento de las ventas ha generado que la empresa llegue a su capacidad máxima afectando sus indicadores. Según Diana Suspes (2018), gerente de producción de la compañía, para enero del 2017 el indicador de cumplimiento se encontraba en 81,71% y para comienzos del 2018, bajo hasta el 73,3%. Además, el indicador de productividad ha decaído, llegando a estar actualmente en 77,32% (Anexo 2). Debido a la política empresarial, de siempre ofrecer un mejor servicio a los clientes, el aumentar estos indicadores es prioritario en la planeación estratégica de la empresa.

Esta disminución del cumplimiento, junto con la creciente demanda y el indicador de producción, generaron la necesidad de la adquisición de una nueva máquina, la cual se tendrá que tener en cuenta a la hora de ejecutar el proyecto. Cabe resaltar que a medida que la empresa ha crecido, ha aumentado sus requerimientos de producción y se ha visto en la necesidad de adquirir maquinaria nueva, que es ubicada en la planta sin analizar el flujo de materiales ni la distancia que recorren los productos a través de la fábrica. Por lo tanto, la empresa no cuenta con un estudio previo de distribución que les permita establecer y analizar las condiciones de sus procesos. Esto ocasionó que se encuentren espacios subutilizados, como gran parte del segundo piso, y a su vez que existan espacios con congestión de material (Anexo 6), lo que lo convierte en un problema de relevancia que debe ser solucionado.

Sumándole a los problemas de cumplimiento, productividad y el requerimiento de espacio para una nueva máquina, se evidenció excesivo inventario a pie de máquina, el cual entorpece el flujo de los operarios y genera desplazamientos innecesarios a la hora de transportar material

(Anexo 4). El producto terminado es almacenado tanto en el primer piso, como en parte del segundo piso, donde encontramos también espacios subutilizados como un almacén de desechos. Del espacio total utilizable para bodega de producto terminado del segundo piso, el 42,29% está siendo subutilizado (Anexo 3).

Por esto, es necesario la implementación de una metodología que disminuya el impacto de la escasez de espacio, y que a su vez permita el adecuado desplazamiento del personal y el material, generando un ambiente seguro para la actividad productiva como lo es una redistribución de planta. De acuerdo con Tompkins (2010), para determinar las necesidades de distribución en una planta industrial se debe tener tres consideraciones principales: el flujo, el espacio y las relaciones entre actividades. Al mantener un manejo eficiente de estos tres factores se pueden identificar las contingencias y restricciones necesarias para mantener una óptima operación.

Según lo estudiado, se planteó la pregunta de investigación de *¿Cómo diseñar la redistribución de la planta de producción de la empresa, teniendo en cuenta el crecimiento de la demanda y el espacio limitado?*

2. Antecedentes:

Desde mediados del siglo XX han surgido procedimientos y modelos que explican cómo realizar una distribución de planta, teniendo en cuenta sus características, las restricciones, los recursos existentes y los objetivos deseados. Estos procedimientos y técnicas se diferencian fundamentalmente por la modelización del problema (Diego-Mas J. A., 2006).

El problema de distribución de planta puede ser abordado según Gómez (2013) en tres distintos enfoques. El primero es la distribución enfocada al producto que busca minimizar las distancias recorridas, mejorar el manejo de material y formular un flujo de producción en línea que reduzca los espacios entre procesos. Otro enfoque es la distribución por procesos que busca crear réplicas de estos en un ordenamiento aledaño generalmente realizando la misma actividad. El tercer enfoque que los complementa a ambos es el de celdas, en el cual se estudia la distribución interna de estas y sus movimientos, al mismo tiempo que se tiene en cuenta la localización de cada celda en un departamento (Moncayo, 2014).

En general, la mayoría de los métodos o técnicas existentes para resolver problemas de *Facilities Layout Planning* (FLP) buscan una solución cercana a un óptimo, la cual se centra en minimizar la distancia recorrida por materiales, disminuir la congestión, disminuir los niveles de trabajo y material en proceso, disminuir los tiempos de fabricación y, el más común, minimizar el costo de manutención de materiales. (Pérez-Gosende, 2016; Moslemipour, Lee & Riling 2012).

La metodología *Systematic Layout Planning* (SLP) fue propuesta por Richard Muthers en 1968. Muthers estableció una jerarquía en la escogencia de las variables a estudiar y sentó las bases para muchas soluciones actuales. La metodología SLP se divide en cuatro fases. La primera fase es la de localización, en la cual se analiza la ubicación de la planta, evaluando si se mantendrá en el emplazamiento actual o si se trasladará a un área nueva.

La fase II consiste en hacer el plan de distribución general, este establece patrones básicos de flujo para las áreas que deben ser organizadas e indica también la superficie requerida y la relación entre las diferentes áreas. La tercera etapa es hacer el plan de distribución detallada. De esta fase se espera un bosquejo de lo que será la nueva distribución. La última fase es la de instalación en la que se realizan los ajustes necesarios de acuerdo con la ubicación de la maquinaria y equipos para lograr la distribución planeada. Para lograr los mejores resultados y poder comparar

frente a la distribución anterior, el método más eficaz y económico es la simulación (Fernández, 2018).

Diferentes autores han empleado las convenciones de Muther en sus escenarios. Stephens & Meyers (2013), Heragu (2008) y Tompkins (2010), proponen llevar a cabo un análisis de la situación actual con el fin de determinar el posible problema existente; así como la cantidad de máquinas, el número de personas requeridas por operación, las necesidades de manejo de materiales, necesidades de almacenamiento, los requerimientos de inspección y las razones de las posibles demoras.

Existen métodos heurísticos, asistidos por computadora, como son los algoritmos basados en distancias, tales como CRAFT, SHAPE, MÚLTIPLE. Dentro de ellos se clasifican los basados en criterios de departamentos adyacentes, en los cuales se encuentran métodos como ALDEP y MATCH (Gómez, 2013). Generalmente, los métodos no gráficos para la resolución de un FLP están enfocados a resolver problemas de QAP (*Quadratic Assignment Problem*). El QAP consiste, básicamente, en asignarle a una cantidad de instalaciones “n” a las “m” localizaciones disponibles, teniendo en cuenta que cada localización “m” cuenta con un costo variable asociado para cada instalación o asignación de “n”, que depende, generalmente, de los flujos y las distancias; y un costo fijo de instalación (Matai & Mittal, 2010).

En otras palabras, un QAP busca minimizar el costo causado por las distancias, los flujos y la instalación. Dicho método presenta óptimas soluciones a un escenario particular y se puede categorizar como exacto para instalaciones menores a 16 centros de actividades, ya que para instalaciones mayores los tiempos de [corrida del modelo](#) no son razonables. Por otro lado, los métodos heurísticos, buscan una solución cercana al óptimo, y que pueden clasificarse como algoritmos de construcción, o algoritmos de mejora. (Pérez-Gosende, 2016).

Existen metodologías que contribuyen a obtener [mejores soluciones y en menores tiempos](#) que los métodos tradicionales, [dentro de estas podemos encontrar algoritmos genéticos, búsqueda Tabú, colonias de hormigas, entre otras](#) (Gómez 2013). Estas técnicas para abordar distribuciones de planta emplean algoritmos de optimización matemáticos, dependiendo de la naturaleza de la disposición de los espacios. Para los problemas de múltiples líneas, se emplean algoritmos no-lineales, basados en matrices de flujo, distancias de aislamiento y costo de recorrido, que tengan como función objetivo minimizar el costo de transporte de material. Un ejemplo de esta heurística es el ABSMODEL2 (Heragu, 2008). Para este tipo de algoritmos es necesario que se realice un previo análisis de la orientación de las máquinas y del flujo deseado de material.

En la industria actual la satisfacción de algunas variables de proximidad aumenta la calidad de las soluciones, pero no es correcto usar aproximaciones que sólo involucren la distancia recorrida en su solución (Manita, Chaieb, 2015). Es por esto, que algunos autores hablan sobre la contrastación con soluciones que planteen escenarios complementarios, aplicando algoritmos que analizan probabilísticamente las distribuciones encontradas con soluciones de tipo vecino más cercano (neighborhood) o k-way.

En la siguiente tabla se presenta un breve resumen sobre técnicas y acercamientos de diferentes autores para la resolución de problemas de layout.

AUTOR	TÉCNICA(S) DE SOLUCIÓN
Calderón, I. G. (2003).	Presenta la redistribución de una planta de fundición de hierro mediante Systematic Layout Planning, teniendo en cuenta el flujo de materiales, la relación de las actividades, los procesos involucrados y el espacio disponible de la planta.

Diego-Mas, J. A. 2006.	Uso del método de algoritmos genéticos para determinar la manera óptima de distribuir una planta cumpliendo restricciones propuestas de espacio y recursos
Heragu 2008	Presenta un análisis completo y exhaustivo sobre el diseño de una instalación de manufactura, desde los requerimientos de datos para la toma de decisiones, hasta los algoritmos y softwares más avanzados para el <i>layout problem</i> .
Jaramillo & Uriarte & Cardona, 2013	Propone el diseño de un modelo de programación entera mixta cuya función objetivo es minimizar costos, cumpliendo con una duración establecida para el proyecto y asegurando el cumplimiento de la demanda durante el mismo.
Manrique, 2009	Formula criterios, tales como: movimiento de material, circulación de trabajo, utilización efectiva del espacio y flexibilidad. Con el fin de calificar la técnica de redistribución de planta a utilizar (distribución con posiciones fijas, distribución por proceso, distribuciones basadas en tecnologías de grupo, distribuciones por producto).
Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010).	Clasifican las formulaciones matemáticas del FLP según cinco categorías que son: FLP de un solo objetivo, FLP multiobjetivo, FLP estáticas, FLP dinámicas y FLP estocásticas.
Pérez-Gosende, 2016	Plantea un procedimiento para calcular un índice de desempeño mediante cinco pasos, para evaluar el desempeño de la distribución de un sistema de producción e identificar sus oportunidades de mejora. Compara un escenario ideal frente a un escenario opuesto o no ideal. Al calcular el índice, el resultado sustenta la necesidad o no de realizar una redistribución dependiendo del desempeño encontrado.
Sáez & García & Morant & Maheut, 2016	Modelo de simulación de eventos discretos usado para "apoyar el rediseño de las instalaciones de una planta" proponiendo diferentes escenarios de distribución y gestión de las operaciones.
Stephens, M. P., & Meyers, F. E. (2013)	Explora diferentes técnicas y procedimientos para diseñar eficientemente un <i>facility layout</i> incluyendo técnicas como la simulación y modelos tridimensionales, teniendo en cuenta las asignaciones de áreas dependiendo del equipo, del manejo de materiales, de los servicios para los empleados y los requerimientos de espacio.

Tabla 1. Técnicas de solución y acercamientos de diferentes autores. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Teniendo en cuenta los anteriores planteamientos, estudios y acercamientos, así como las restricciones, necesidades y el estado de la planta de ISOPLASTICOS, es pertinente aplicar SLP, uno de los modelos expresado por Heragu (2008), y, además, el más usado en empresas de manufactura para realizar un rediseño de la planta. Así mismo, se simulará la respuesta obtenida mediante el software FlexSim®. Finalmente se evaluarán los indicadores de desempeño frente a la situación actual y la propuesta, así como las variables financieras con el fin de demostrar la viabilidad económica de la propuesta.

3. Objetivos:

3.1 Objetivo general:

Diseñar una redistribución de la planta de procesamiento de la empresa ISOPLASTICOS S.A.S, que aumente los indicadores de cumplimiento y productividad que posee actualmente la empresa, y genere un retorno financiero estimado.

3.2 Objetivos específicos:

- Construir la situación actual de la empresa, recolectando los datos necesarios para la creación de un escenario base, usando diagramas del flujo actual de la fabricación.

- Determinar diferentes escenarios de solución posibles analizando los datos recogidos y aplicando las diferentes fases de la metodología SLP.
- Simular las soluciones encontradas para determinar la variación de los indicadores de desempeño y escoger el de mejores resultados.
- Elaborar un análisis financiero de la propuesta de rediseño de planta escogida, demostrando el impacto que genera para la empresa su implantación a partir de una estimación de costos y beneficios.

4. Metodología

El proyecto se desarrolló a partir de la metodología DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), por esta razón este documento evidencia la estructuración del estudio a partir de los pasos que involucra el acrónimo. La etapa de definición del problema se cubrió en las secciones de justificación y antecedentes, a raíz de esto, los objetivos se diseñaron a partir de las siguientes etapas: Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. A continuación, se desarrolla la metodología por fases, de acuerdo con el cumplimiento de los objetivos específicos, los cuáles se desarrollan a continuación.

Fase 1: Situación actual de la empresa.

En esta fase se aborda la etapa de “Medir”. Esta debe estudiar el problema mediante la medición del estado actual del proceso (Smith Galvin, 1988). En orden con esta afirmación, fue necesario identificar las variables que facilitarían una representación fiel de la operación actual. Estas variables debían ilustrar la situación inicial del problema y orientarlo a que su solución cumpliera con los requerimientos esperados del diseño. Dichos requisitos se encuentran ligados a indicadores de desempeño de la cadena productiva y a indicadores de aprovechamiento de los recursos.

Los primeros indicadores buscan disminuir los desplazamientos de los operarios, la distancia total recorrida de la materia prima, productos en proceso y terminados. Mientras que los de aprovechamiento de recursos buscan incrementar el porcentaje de utilización de áreas y un mejorar el área de tránsito de operarios. Teniendo en cuenta lo anterior, se creó el listado de variables, y en consenso con la empresa, se determinó el origen de estas.

Entre las variables necesarias se encontraron: dimensiones de maquinaria, dimensiones de áreas de trabajo, flujo de materia prima, flujo de producto terminado, capacidad productiva de las máquinas, capacidad de carga de los operarios y capacidad de almacenamiento. El primer paso en la obtención de estas variables fue medir arquitectónicamente los dos pisos de la planta y elaborar un plano en AutoCAD® (Anexo 3). Posterior a esto, se hicieron las mediciones de áreas operacionales, maquinaria y áreas auxiliares, ubicándolas en el plano creado para tal propósito.

Una vez realizada la distribución espacial del escenario base, el paso a seguir fue calcular la capacidad de producción de la empresa, asociada a los tiempos de los procesos y los recursos disponibles. Debido a la gran cantidad de referencias que maneja la empresa, se aplicó un Pareto para encontrar los productos más representativos y poder agregarlos. Cambiando la idea inicial de agrupar los productos por el cliente (Anexo 9). La agrupación se hizo teniendo en cuenta cuales productos habían generado el 80% de los ingresos de la compañía en el periodo enero – Julio de 2018. Se escogió este periodo, en consenso con la empresa, pues representaba de mejor manera su situación comercial. El resultado fueron 11 productos agregados entre soplado e inyectado, mostrados en la tabla a continuación:

Agregado	Unidades ene/jul2018	Unidades /mes	Ingreso ene/jul2018 (COP)
ENVASE SUAVIZANTE * 1000ml	9.027.454	1.289.636	\$ 3.647.091.416
Tapa dosificadora	8.068.900	1.152.700	\$ 911.785.700
ENVASE ALCOHOL 350 ml	607.992	86.856	\$ 191.517.480
ENVASE ALCOHOL 700 ml	320.700	45.814	\$ 165.160.500
ENVASE SUAVIZANTE * 3800ml	122.267	17.467	\$ 153.322.818
Tapa oral b	1.474.200	210.600	\$ 118.582.380
Tapa falda larga genérica 150 ml	2.326.800	332.400	\$ 95.784.948
ENVASE ALCOHOL 130 ml	506.736	72.391	\$ 91.719.216
Envase cristal 500 ml	177.750	25.393	\$ 81.054.000
TAPA CONICA 28 mm	818.000	116.857	\$ 60.014.000
ENVASE PODER X 1000 ml	106.486	15.212	\$ 41.582.783
Total	23.557.285		\$ 5.557.615.241

Tabla 2. Productos Pareto que fueron objeto de estudio. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Una vez obtenidos los productos objeto de estudio, se procedió a emplear herramientas para la medición y análisis de la situación inicial. Estas fueron los diagramas OTIDA, los diagramas de procesos, los flujogramas y la observación del comportamiento habitual de la empresa (Anexo 10). Para realizar los diagramas fue necesario calcular el tamaño de lote como el número de unidades que se agrupan por estiba, dato usado actualmente para tareas de calidad. Posteriormente, se determinaron los tiempos requeridos para cada una de las operaciones e inspecciones por producto.

Mediante la observación y documentación se calcularon las distancias recorridas por los operarios, y también se calculó la velocidad promedio de un operario. Para las variables: tiempo de actividades, tasas de falla, y demanda por producto, se emplearon datos suministrados por la empresa. Estos tuvieron que ser procesados y consolidados en los diferentes anexos del documento y, posteriormente, fueron usados para el desarrollo de los diagramas y la simulación del estado inicial (Anexo 9).

Se determinó que los tiempos de procesos eran muy similares entre los productos con el mismo tipo de operación principal (soplado o inyectado). Teniendo en cuenta esta particularidad, se decidió realizar un agregado para los tiempos, usando el número de unidades de producción como ponderador (Anexo 11). Una vez obtenidos los agregados se procedió a modelar la situación inicial en FlexSim®.

Para modelar este apartado se tomaron los siguientes supuestos:

- Tiempos de descanso despreciables de los operarios.
- Los tiempos tomados en días de operación normales son los mismos para cualquier instante en el horizonte evaluado.
- Se asumió que para la carga de materia prima se llevan los costales de 25 Kg, uno a la vez al área de mezclado.
- Para el transporte de producto terminado se movilizan 2 unidades empacadas al mismo tiempo.
- No se tuvo en cuenta el desgaste por traslados de los operarios, por tanto, estos se desplazan a una velocidad constante (3.4 km/h).
- Se asumió que todos los despachos de producto terminado tienen la misma cantidad, es decir, se carga siempre un camión con 20 lotes por cada despacho al cliente (480 unidades de empaque).
- La modelación no contempla contrataciones de personal adicional.

- No existe producto terminado en almacenamiento en el instante 0.
- Se asume que la bodega de materia prima inicia con inventario lleno y que cada semana se realiza la alimentación con 744 bultos de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) y 700 empaques de colorante.

La capacidad de producción de máquinas se calculó como la capacidad nominal de la máquina (según especificaciones de fábrica) **multiplicada por un porcentaje de falla dado por la empresa. Este equivale porcentaje de tiempo que se encuentra en funcionamiento de la máquina.**

- La información usada para el modelo obedece a la restricción de diseño que limita el estudio a datos determinísticos **al asumir un sistema estable en el tiempo. Esto obedece a que se manejen solo 2 tipos de producto que se fabrican en 2 tipos de máquinas diferentes.**

El resultado fue el diagnóstico de la situación inicial, a la luz de los indicadores de desempeño (Tabla 3).

Indicadores de desempeño	Formula	Situación actual
Distancia total recorrida por operarios/día	Distancia recorrida Operarios / Días de la semana	50.373
Distancia total recorrida por Materia Prima/día	Distancia recorrida a la semana/días de la semana	2.657
Distancia total recorrida por Producto Terminado/día	Distancia recorrida a la semana/días de la semana	45.887
Capacidad productiva de la planta/mes	Capacidad efectiva de Soplado en la planta	1.436.687
Capacidad productiva de la planta/mes	Capacidad efectiva de Inyección en la planta	4.145.359
Porcentaje de utilización de áreas	área utilizada/área disponible	50,93%
Capacidad de almacenamiento de planta	No de lotes en Almacenamiento PT + No de lotes en Picking	113

Tabla 3. Indicadores de desempeño. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Fase 2: Determinación de escenarios

En esta fase se referencia a la etapa “Analizar”. En la cual se determinaron las oportunidades de mejora del problema, analizando los resultados obtenidos en el apartado anterior. Para abordar el objetivo se emplearon las 3 primeras fases de la metodología SLP. La primera Fase implica la ubicación geográfica de la planta. En este problema se definieron 3 posibles escenarios. El primero, que la empresa continuara operando donde se encuentra actualmente. El segundo escenario contemplaba la reubicación total de la planta dentro del área metropolitana, y el último, en las afueras de Bogotá, en una zona donde tuviese beneficios tributarios en un lugar escogido por la gerencia de la empresa.

Para encontrar cuál era la opción de traslado óptimo dentro de Bogotá, se empleó la metodología de la Mediana (Heragu, 2008). Esta implica encontrar las coordenadas “X” y “Y” de cada uno de los clientes, y asignarle a las mismas un ponderador. Las coordenadas empleadas fueron la latitud y la longitud para cada uno de estos puntos. Como ponderador se usó el ingreso percibido de cada uno de sus clientes. El resultado de la heurística arrojó que la mejor localización posible era adyacente a Industrias La Victoria, ubicada al sur de la capital.

Posteriormente se empleó la metodología de Ponderación de factores para escoger cuál de los 3 escenarios era el más conveniente (Heragu, 2008). La asignación de puntajes para las variables cualitativas se hizo en acuerdo con la empresa aplicando una escala de 1 a 5, y se

determinó que la localización óptima era en el lugar actual de la empresa (Anexo 12) La tabla de coordenadas de los clientes Pareto, así como su representación satelital se muestran a continuación:

Cliente	W(ij)	Distancia (km)	Longitud	Latitud	Xi	Yi
Isoplásticos	N/A	N/A	74° 2'27.52"O	4°44'41.33"N	266.548	17.081
Industrias la victoria	0,909821652	19,5	74° 8'16.56"O	4°35'50.63"N	266.897	16.551
Coopidrogas	0,074097625	12,4	74° 9'7.46"O	4°45'32.99"N	266.947	17.133
Eterna	0,003644145	14,5	74° 6'58.44"O	4°38'14.40"N	266.818	16.694
Azulk	0,002718857	20,4	74° 8'53.55"O	4°35'40.33"N	266.934	16.540
Dicpsom	0,009717721	21,7	74°10'55.41"O	4°36'32.18"N	267.055	16.592

Tabla 4. Datos empleados para los cálculos de localización. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.



Imagen 2. Resultado de la localización por metodología de la mediana. Imagen editada de Google Earth.

La segunda fase del SLP tiene como objetivo encontrar una distribución de áreas dentro de la planta actual. Para lograr esto se definieron, en primer lugar, cuáles iban a ser los requerimientos de espacios de cada una de las áreas productivas de la compañía. Se identificaron las áreas de almacenamiento de materia prima, mezclado, soplado, inyectado, almacenamiento de producto terminado, zona de picking y otras áreas auxiliares. Una vez clasificadas las áreas se procedió a determinar la necesidad de espacios a futuro.

Para calcular la necesidad de producción a futuro, se formuló la proyección de esta con base en los históricos de **venta** facilitados por la gerencia. Con este fin, se hizo un análisis de qué tipo de metodología de pronóstico se ajustaba mejor a la demanda de la empresa. Luego, se modelaron los 3 escenarios de suavización (simple, exponencial y triple) y se escogió la solución que ofrecía menor error, fijándose en que la distribución de este a nivel gráfico se observara como normal (Anexo 13). Una vez consolidados los datos y hallada la demanda estimada para diciembre de 2021, se procedió a determinar los requerimientos de áreas.

Los requerimientos de espacio para área de almacenamiento se estimaron para la necesidad de materia prima en una semana (ciclo de abastecimiento de la empresa). Inmediatamente después, se halló la necesidad de capacidad productiva de la maquinaria, en donde se encontró que la distribución debía planearse con nuevas máquinas para el área de soplado. Las nuevas máquinas fueron escogidas entre 3 opciones facilitadas por el proveedor de maquinaria de la empresa. Para la selección se usó

como criterio el número de unidades producidas por metro cuadrado de área requerida, pues entre los objetivos del documento esta maximizar el uso del espacio (Anexo 14).

Con la adquisición de nuevas máquinas es necesario un mayor espacio para las áreas eléctricas, hidráulicas y de ventilación, por ello en diálogos con la empresa se consensuó la ampliación con el jefe de mantenimiento. Una vez obtenidas las máquinas objeto de estudio, se procedió a calcular la necesidad de alimentación de estas, donde se evidenció que era requerido un nuevo molino.

Se determinó que las áreas de almacenamiento de producto terminado y picking debían ser adyacentes y que serían las únicas áreas (además de ventilación, baños, casino y vistieres) que ocuparían el segundo piso. Se hizo un análisis de las áreas, teniendo como premisa que el número de unidades por lote equivaldrían al lote más significativo y se calculó el área requerida con un factor del 40% de área total para pasillos y áreas auxiliares (Heragu, 2008). El cálculo del área de picking se hizo teniendo en cuenta los camiones necesarios al día para la demanda futura a diciembre de 2021.

Teniendo los requerimientos de área definidos, se procedió a determinar las relaciones existentes entre las mismas (Imagen 3). Para su estudio, se creó el diagrama de relación de actividades (Imagen 4) y, con el mismo, se planteó un layout en un diagrama de relación de espacios (Anexo 15). Este diagrama fue llevado a una representación pre-arquitectónica de la planta y ajustado para que cumpliera con las especificaciones de diseño. El resultado fue la primera distribución tentativa de estudio que sería llevada a FlexSim® posteriormente. Debido a que este diagrama no muestra la distribución con base en el flujo material sino a variables cualitativas se estudiaron diferentes configuraciones obtenidas a partir de heurísticas que empleaban datos cuantitativos.

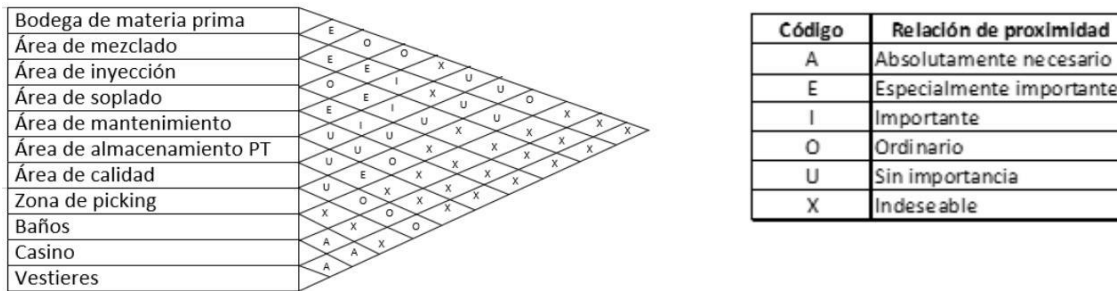


Imagen 3. Cuadro de relación de departamentos. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

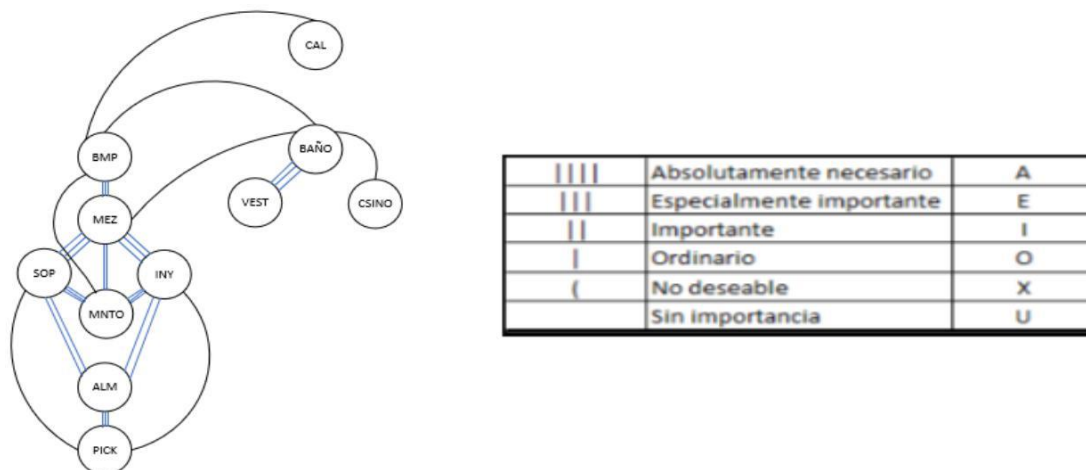


Imagen 4. Diagrama de relación de actividades. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

La segunda heurística empleada fue ABSMODEL 2. Para este algoritmo se requería determinar los aislamientos, el flujo total mensual y el costo de traslado de material entre las diferentes áreas (Anexo 16). Posteriormente, fue modelada una heurística no lineal que arroja una solución preliminar para la distribución de espacios (Anexo 18). Esta se programó en el software LINGO® (Heragu 2008), que permitió obtener una [con mejores indicadores de desempeño](#). Debido a que el modelo contempla las áreas y no el posicionamiento de las máquinas, se ajustaron según los criterios de cercanía a las áreas con mayor relación y se ajustó el diagrama en un pre-arquitectónico para ser modelado posteriormente en FlexSim®. La formulación del modelo realizado fue la siguiente:

Parámetros y variables:

n : Número de departamentos

c_{ij} : Costo de mover una unidad de carga del lugar i al lugar j

f_{ij} : Número de unidades transportadas desde el lugar i al lugar j

x_i : Distancia horizontal entre el centro del departamento i y el eje vertical de referencia

y_i : Distancia vertical entre el centro del departamento i y eje horizontal de referencia

l_i : Longitud horizontal del departamento i

b_i : Longitud vertical del departamento i

dh_{ij} : Aislamiento horizontal entre el departamento i y el departamento j

dv_{ij} : Aislamiento vertical entre el departamento i y el departamento j

z_{ij} : Binario que indica 1 si hay proximidad entre el departamento i y el departamento j ,
0 de lo contrario

Función Objetivo:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad (1)$$

Restricciones:

$$|x_i - x_j| + MM \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + dh_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (2)$$

$$|y_i - y_j| + MM(1 - z_{ij}) \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) + dv_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (3)$$

$$z_{ij}(1 - z_{ij}) = 0 \quad \forall i \forall j \quad (4)$$

(1). La función objetivo multiplica los costos asociados al flujo entre departamentos por el número de desplazamientos y finalmente por la distancia en coordenadas cartesianas minimizando su valor final.

(2)(3). Esta restricción impide que las áreas se superpongan y se respeten los aislamientos.

(4) asegura que Z sea un binario y una de las 2 condiciones (2)(3) se mantenga.

Refinando los resultados obtenidos por el ABSMODEL 2 se ejecutó una heurística que relacionaba el posicionamiento de las máquinas como áreas independientes. Esta fue diseñada analizando el modelamiento por ABSMODEL 2. Al obtener una configuración para máquinas de soplado e inyectado se calculó un coeficiente de flujo entre áreas para cada una de las máquinas y se priorizó su ubicación con base en estos. La configuración resultante de aplicar la heurística para

soplado e inyectado y, posteriormente, reubicarlas en torno al área de mezclado y almacenamiento de producto terminado, creó dos escenarios posibles para ser modelado en FlexSim®.

El último paso realizado fue la distribución de los espacios de trabajo dentro de cada una de las áreas. Aquí se encuentran distribuidos los espacios de los operarios, los pasillos necesarios, el área para PT y las zonas auxiliares, tanto para las máquinas como para las demás facilidades instaladas. Para la generación de estos resultados se creó un diagrama arquitectónico de cómo resultaría la planta teniendo en cuenta las normas OHSAS 18001 (BSI, 2018) que establecían las condiciones de salud y seguridad del trabajo (SST). El resultado final incluye [las distribuciones de planta propuestas por](#) las heurísticas.

Fase 3: Selección de la distribución final

Debido a que la implementación de las soluciones analizadas requiere un largo margen de tiempo, la solución del problema se modeló a través del software de simulación FlexSim®. Por esta razón, en esta fase se hizo referencia a “Mejorar” (Improve), de la metodología DMAIC. El análisis de las soluciones propuestas es crucial a la hora de determinar cuál de ellas será implementada. Para obtener una solución certera fue necesario realizar el levantamiento de nuevas variables y la creación de supuestos.

La primera premisa fue que todo lo que la empresa produce se vende y que la redistribución facilitaría que las sopladoras 3, 5 y 6 trabajen al 82,723% y que, las tres sopladoras nuevas en un 90%. También se asumió que las inyectoras trabajarían al 75% de su capacidad nominal como resultado del mejor manejo de material. El supuesto de que el 100% de las unidades producidas son comercializadas permite a determinar fácilmente la cantidad y distancia de trayectos que debe recorrer un operario en cualquiera de los 4 escenarios para satisfacer la demanda de los camiones.

Los datos empleados para realizar las corridas de simulación en cada escenario se calcularon agregando datos como tiempos y peso ponderados de inyección y soplado de las 11 referencias de producto, según cifras subministradas por la empresa del número de unidades producidas (Anexo 11).

Tomando los planos pre arquitectónicos que se hallaron con las heurísticas mencionadas en el apartado anterior, se procedió a simular cada uno de los escenarios utilizando la opción “*model back ground*” para poder visualizar los planos desde dicho software. Una vez introducidos los planos, se ubicaron las áreas y la maquinaria según lo dispuesto por cada heurística. Debido al cambio de ubicación de las escaleras y para agilizar el transporte de producto terminado, se simuló la adquisición de un elevador eléctrico, ubicado de manera diferente en cada escenario.

En cuanto a los aspectos de la simulación, para modelar los flujos, recorridos, pasos restringidos y paredes, se usaron nodos de tráfico. Los molinos fueron simulados como “*combiners*” dónde, los operarios encargados de este proceso (molineros), tienen la tarea de alimentarlos con 4 bultos de PEAD de 25kg y 4 sobres de medio kilo de pigmento. Una vez alimentados, los molinos demoran 10 minutos mezclando la materia prima. Posteriormente, los operarios molineros se encargan de alimentar las inyectoras y sopladoras con la mezcla anteriormente preparada.

Para modelar las inyectoras y las sopladoras se usaron 3 elementos diferentes. Primero un “*separator*” que se encarga de modelar el proceso de alimentación de cada máquina separando la mezcla creada. Una vez separada la mezcla en unidades, se utilizó un “*Processor*” con el tiempo de producción por unidad y por minuto de cada máquina, para simular la operación de inyección o de soplado. Finalmente, mediante un “*combine*”, se simuló el proceso de empaque, que

concluye en una cola, en donde se agrupa los empaques producidos. Para cada máquina se utilizó el número de operarios empleados en la situación real actual de la empresa.

Posteriormente se agregó una placa de 3,5m de elevación sobre el plano del segundo piso para simular dicha estructura con el entresuelo ya construido. Se ubicó uno de los operadores de despachos en el segundo piso para que se encargara de recibir el PT proveniente del primer piso por uno de los dos operarios que actualmente trabajan en el área de despachos. El otro operario, el encargado de los despachos del primer piso, transporta las estibas de PT mediante un gato hidráulico móvil hacia el elevador de carga.

Una vez realizados todos los escenarios, se corrieron durante una semana de operaciones (10.080 minutos), con el fin de, posteriormente, analizar los indicadores de desempeño y determinar cuál de ellos cuenta con la solución óptima.

Fase 4: Elaborar un análisis financiero de la propuesta de rediseño de planta escogida.

Esta fase complementa la etapa de “Mejorar (Improve)” de DMAIC. Este apartado evidencia la metodología empleada para el análisis de la situación final escogida. Aquí se modelan a nivel financiero los diferentes flujos de caja de la implantación en el margen de tiempo de 3 años y se determina qué in |versiones son viables para la empresa. Este análisis se dividió 5 diferentes proyectos para ser costeados individualmente, los cuales se explican a continuación:

El primer proyecto es la reorganización arquitectónica de las áreas propuestas. Para su evaluación se incluyeron todos los costos asociados: la obra de la placa, la reubicación de la escalera, la demolición de paredes, la reubicación de los baños, el cerramiento del área de mezclado, la ampliación de la bodega de almacenamiento de materia prima, el nuevo cerramiento de la zona eléctrica y la reasignación del área de mantenimiento. Estos costos de obra fueron obtenidos mediante una cotización de la constructora NOVATEC S.A.S.

El segundo proyecto involucraba la adquisición de un elevador eléctrico para simplificar el traslado de PT al segundo piso y disminuir el número de viajes realizados, con el fin de poder transportar mayores volúmenes. Para esto se obtuvo una cotización de la empresa APR ingenieros S.A.S.

El tercero fue la implementación de un sistema transportador por gravedad para hacer viable la creación de la zona de picking en el segundo piso. Este sistema debe ser plegable, por ello, se incluyó un sistema con un motor eléctrico que **elevase la rampa** hacia la placa. La razón de que esta pueda plegarse es para que no ocupe espacio en la entrada de la fábrica y permita así la entrada y salida de maquinaria.

El cuarto proyecto consiste en la reubicación de las máquinas existentes en el primer piso. Se deben reubicar todas las máquinas en el mismo periodo de tiempo, pues de no ser así, se verá interrumpida la producción en diferentes instantes de tiempo, y se incurrirá en mayores costos. Dicha reubicación está dispuesta teniendo en cuenta la adquisición de maquinaria en el tiempo, por ende, deben delimitarse estas zonas y respetarse para que no sea requerida otra redistribución a futuro.

El quinto proyecto es el principal y eje de este apartado, la adquisición de nuevas máquinas. Los costos de la compra e instalación de estas máquinas fueron suministrados por la empresa con base en sus experiencias anteriores. Como se mencionó anteriormente, estas máquinas fueron escogidas revisando el catálogo del proveedor mayoritario de máquinas de la compañía, asumiendo una TRM para cualquier instante en el tiempo de \$3.200 COP/USD. Una vez recogida toda la información de costos directos de la propuesta se generó un análisis para determinar los costos ocultos de la misma ([Anexo 21](#)).

Se encontraron como costos ocultos: paro de producción (calculado como el costo de maquilar estos productos), riesgo de contaminación de lotes, reingeniería eléctrica e hidráulica, aumentos de servicios públicos y un costo de imprevistos del 10%. Ya obtenidos los costos ocultos se procedió a determinar cuáles serían los ahorros de las inversiones. **Primero se tiene** el aumento de la **capacidad productiva mensual en más de un 200%** por concepto de redistribución de planta **y adquisición de nueva maquinaria**, también están los ingresos adicionales por dejar de maquilar productos, los ahorros por flujo de operarios, ahorros por nuevos espacios de almacenamiento y eliminación de costos por bodegaje.

Para finalizar se desarrollaron los flujos de caja teniendo en cuenta las variables financieras. Se empleó la metodología de VPN para medir la inversión en el tiempo y la TIR con el fin de obtener el rendimiento esperado de esta inversión. En este paso fue necesario calcular una tasa de retorno de la compañía. Esta tasa de retorno fue calculada como el WACC (Berk DeMarzo, 2014) de la compañía basado en los datos de los estados financieros. Ya finalizado el estudio financiero se dio un concepto de la inversión y se realizó un posterior análisis para incluir el cronograma de implementación. El **último** paso de la metodología DMAIC (Controlar) se encuentra en ejecución actualmente en manos de la compañía.

$$WACC = \frac{Equity}{Debt + Equity} * (Ke) + \frac{Debt}{Debt + Equity} * (1 - Tax) * (Kd)$$

$$Valor\ Presente\ Neto\ (VPN) = \left(\sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + K)^t} \right) - I_0$$

$$Tasa\ Interna\ de\ Retorno\ (TIR) = \left(\sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t} \right) = 0$$

- (1). Fórmula del costo de capital de la compañía calculada mediante la ponderación de los costos de la deuda y patrimonio, teniendo en cuenta el escudo fiscal.
- (2). Fórmula para convertir un flujo de efectivo futuro a su valor presente.
- (3). Fórmula del cálculo de la tasa de retorno para el proyecto.

El análisis financiero fue calculado para tres escenarios de demanda diferentes. Los porcentajes de crecimiento con los que se realizaron los cálculos de cada escenario se muestran en la tabla a continuación:

Escenario	Área	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
Base	Soplado	56,08%	31,94%	24,66%	19,78%
	Inyección	47,39%	29,67%	21,45%	17,66%
Optimista	Soplado	70,10%	39,93%	30,82%	24,73%
	Inyección	59,23%	37,08%	26,81%	22,07%
Pesimista	Soplado	42,06%	23,96%	18,49%	14,84%
	Inyección	35,54%	22,25%	16,08%	13,24%

Tabla 5. Productos Pareto que fueron objeto de estudio. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

5. Resultados

A continuación, se analizan los resultados de las metodologías y herramientas empleadas para la solución del problema dentro de cada uno de los objetivos. En su desarrollo, se explica la implementación del diseño de ingeniería, y se exponen los hallazgos y conjeturas empleadas. Finalmente, se ilustra las partes críticas de los entregables, junto con un análisis de los resultados obtenidos.

Los primeros resultados para la construcción de la situación actual fueron los diagramas de operaciones, flujo de proceso y flujo de recorrido para los 11 productos estudiados. Con los diagramas de operaciones se obtuvo el orden de las actividades y los tiempos de cada una de estas, también, se pudieron identificar las operaciones de inyección y soplado como las críticas, ya que demandan más tiempo de proceso (Anexo 10). Los diagramas de flujo de procesos sirvieron para determinar los tiempos agregados totales de operación, transporte, inspección y almacenamiento de un lote de producción, los cuáles son 616 minutos para lotes de soplado y 1671 minutos para lotes de inyección (Anexo 11).

Para evidenciar el lugar en la planta donde se realiza cada operación y la distancia que recorren los operarios se levantaron los diagramas de flujo de recorrido. Gracias a esto, se identificó que debido a la organización actual de la planta pueden presentarse flujos cruzados de personal al transportar materia prima o producto terminado (Anexo 10).

Durante el análisis de los datos observados en los diagramas se escogieron las variables que afectan la distribución de planta. Posteriormente se identificaron los indicadores de desempeño que se iban a utilizar para contrastar la situación actual con las propuestas. Finalmente, se modeló la situación base en FlexSim® y se calcularon los indicadores para la misma. Los indicadores tenidos en cuenta fueron los siguientes:

Indicadores de desempeño	Formula
Distancia total recorrida por operarios (metros/día)	Distancia recorrida Operarios / Días de la semana
Distancia total recorrida por Materia Prima (metros/día)	Distancia recorrida a la semana/días de la semana
Distancia total recorrida por Producto Terminado (metros/día)	Distancia recorrida a la semana/días de la semana
Capacidad productiva de la planta (und/mes)	Capacidad efectiva de Soplado en la planta
Capacidad productiva de la planta (und/mes)	Capacidad efectiva de Inyección en la planta
Porcentaje de utilización de áreas (%)	Área utilizada/Área disponible
Capacidad de almacenamiento de planta (Lotes)	No de lotes en Almacenamiento PT + No de lotes en Picking

Tabla 6. Indicadores de desempeño de la situación inicial. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

La vista del modelo de la simulación inicial en FlexSim® se puede apreciar en la siguiente imagen:



Imagen 5. Simulación de la situación actual de la empresa. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Una vez comenzada la fase 2, el primer resultado que se obtuvo fue la ubicación geográfica de la planta. De acuerdo con la metodología de ponderación de factores, se halló que la mejor localización posible era continuar en la planta actual. Esto obedeció la importancia que da la empresa a la logística de traslado y a la dificultad para encontrar mano de obra calificada en las localizaciones propuestas (Tabla 7).

Análisis de ponderación de factores	Peso	Localización A	Localización B	Localización C
Mano de obra calificada	20%	5,00	3,00	2,00
Cercanía a clientes	15%	4,00	5,00	2,00
Beneficios tributarios	10%	1,00	1,00	5,00
Facilidad de acceso	5%	3,00	4,00	5,00
Liquidez para la implementación	15%	5,00	3,00	1,00
Costos de servicios públicos	15%	4,00	4,00	5,00
Capacidad de expansión	20%	2,00	3,00	5,00
Puntaje		3,60	3,30	3,35

Tabla 7. Indicadores de desempeño de la situación inicial. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Siguiendo con la metodología se obtuvieron los modelos propuestos de distribución de planta a partir de las heurísticas aplicadas. Los resultados fueron 4 configuraciones de espacios que variaban en la posición de las áreas de mantenimiento, materia prima, ascensor y la ubicación de máquinas. La primera heurística (**Relación de espacios**) obedecía a una distribución basada en la relación de las áreas que se refinó incluyendo limitación de espacios y se obtuvo una configuración sencilla que obedecía a un flujo de proceso en U (Anexo 15). Esta opción pasó a ser evaluada mediante FlexSim®, pues cumplía con los requerimientos esperados.

La segunda heurística arrojó una distribución que obedecía a una modelación matemática del problema (Anexo 16). En esta, el área de soplado no obedecía al dimensionamiento de las máquinas, por tanto, se requirió de ubicar un segundo espacio independiente en donde se localizaron las máquinas con menor demanda de flujo de material. Esta configuración arrojó una posición del elevador diferente a las demás, lo que la hizo **más** atractiva para su evaluación. Después se obtuvo una configuración que cumplía con los requerimientos esperados del diseño. Finalmente, se consiguieron dos disposiciones de máquinas mediante el segundo algoritmo planteado que cumplían con los requerimientos de diseño, el seguimiento de las heurísticas se puede apreciar en (Anexo 20). Los planos de las disposiciones se muestran a continuación.

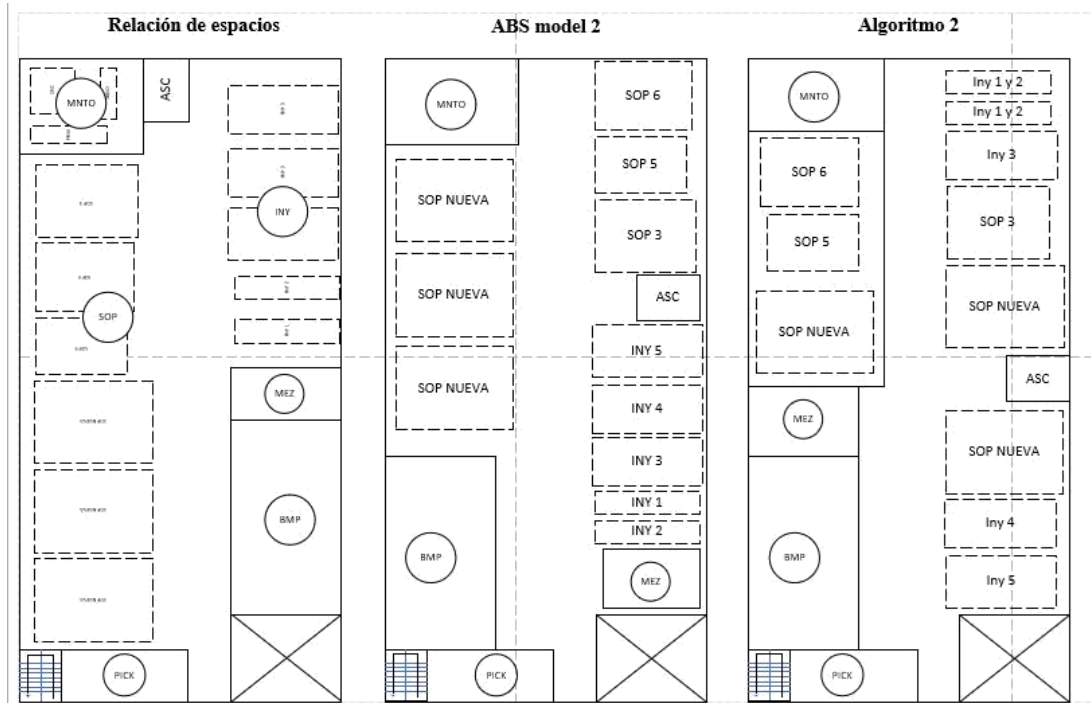


Imagen 6. Escenarios propuestos de layout para la primera planta. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Como se puede observar en la imagen 6, el principal cambio de la heurística de relación de espacios es la reubicación del área de bodega de MP y el área de mezclado, esta ubica el ascensor al final de la planta, al lado del área de mantenimiento. Por otro lado, el plano del modelo ABSMODEL2 separa el área de almacenamiento y mezclado que, posteriormente en la simulación, demostró no ser una posición óptima. El algoritmo 2 demostraba que se debían distribuir las máquinas con mayor flujo alrededor del área de mezclado y el ascensor.

El último paso implicó realizar la asignación de espacios de trabajo para las diferentes máquinas y áreas de trabajo. En esta se ubicaron los espacios para los empleados, el PT y los componentes auxiliares de cada una (Anexo 17). Los resultados obtenidos tienen cambios significativos frente a la configuración inicial y dejan un área de tránsito superior a la instalada actualmente. Esto permitiría el transporte de producto terminado por pallets y por ello se minimizó el número de viajes que se realizan entre las diferentes áreas.

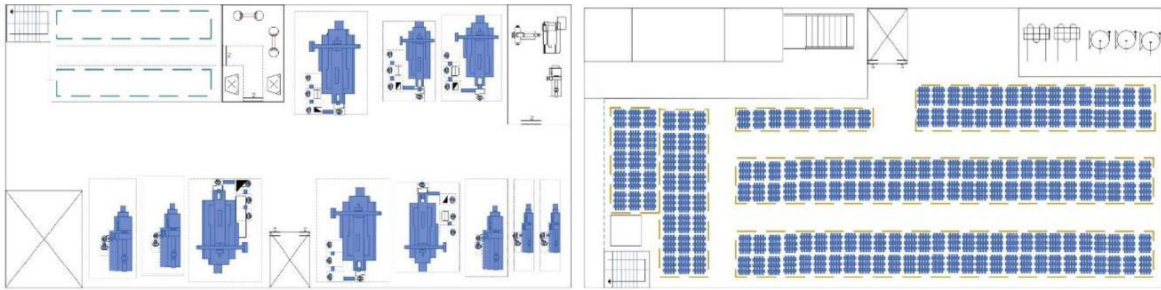


Imagen 7. Diagrama arquitectónico de la situación propuesta. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Una vez obtenidos todos los planos y las configuraciones de áreas y maquinaria de los cuatro posibles escenarios de distribución que se obtuvieron con las heurísticas, se prosiguió a realizar la modelación de estas en FlexSim®. Hay que tener en cuenta que, para todos los escenarios se ubicaron las escaleras en el mismo lugar, se reubicaron los baños y los vestidores y, se diseñó una zona de tránsito según las normas para OHSAS 18001 (BSI, 2018). Las imágenes a continuación ilustran los escenarios simulados para cada plano de cada heurística realizada:

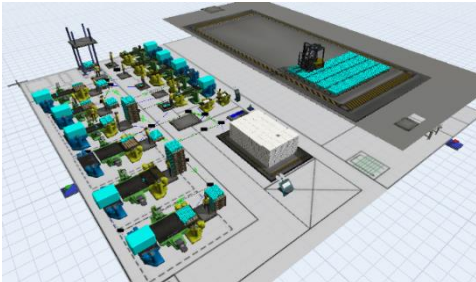
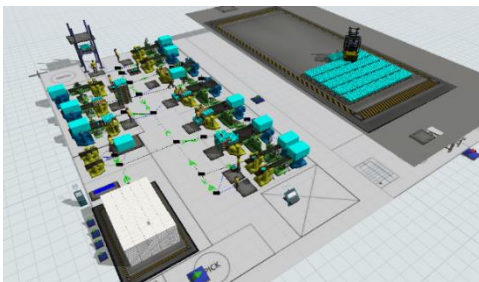
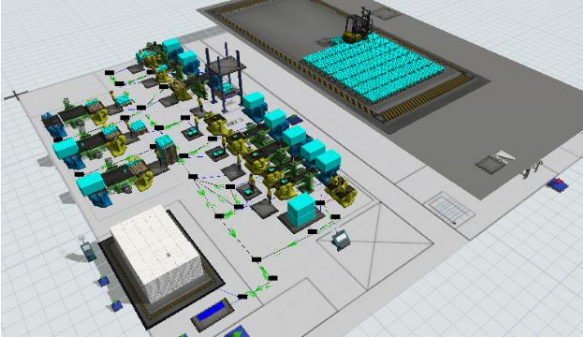
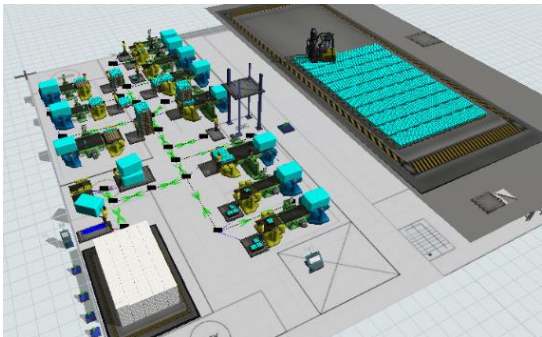
Modelo FlexSim	
Relación de espacios 	ABSMODEL 2 
Algoritmo - 1 	Algoritmo - 2 

Tabla 8. Vista simulación de heurísticas en FlexSim®. Escobar, Peñaranda Tamy 2018.

Para concluir cuál era la mejor solución encontrada para la compañía, se simularon en el *Experimenter* del software por 10080 minutos y se hallaron los datos necesarios para calcular los indicadores de desempeño (Anexo 19). La siguiente tabla muestra los indicadores de desempeño de la situación inicial comparados con los del escenario propuesto:

Indicadores de desempeño	Situación actual	Relación de Espacios	ABSMODEL 2	Algoritmo 1	Algoritmo 2
Distancia total recorrida por operarios (metros/día)	50.373,19	9.856,68	44.083,37	6.668,67	6.436,38
Distancia total recorrida por Materia Prima (metros/día)	2.656,74	4.923,28	8.787,74	2.804,01	3.062,32
Distancia total recorrida por Producto Terminado (metros/día)	45.886,70	3.390,58	2.727,37	3.118,94	2.300,09
Capacidad productiva de la planta de Soplado (und/mes)	1.436.687	3.513.940	3.513.940	3.513.940	3.513.940,00
Capacidad productiva de la planta de Inyección (und/mes)	4.145.359	4.145.359	4.145.359	4.145.359	4.145.358,75
Porcentaje de utilización de áreas (%)	50,93%	86,38%	86,38%	86,38%	86,38%
Capacidad de almacenamiento de planta (Lotes)	113	273	273	273	273,00

Tabla 9. Indicadores de desempeño de las heurísticas aplicadas. Escobar, Peñaranda, Tamy 2018.

La mejor configuración fue la configuración del algoritmo 2. Una vez determinada se procedió a analizar financieramente su implementación. La inversión se dividió en 5 proyectos, cada uno con el objetivo de viabilizar el correcto funcionamiento de la redistribución encontrada.

Las cotizaciones de maquinaria fueron hechas con los proveedores actuales de la empresa. Los demás presupuestos fueron obtenidos con información suministrada por terceros. Dichas inversiones, su objetivo y valor son resumidas en la tabla a continuación.

Inversión	Objetivo	Valor (COP)
Transportador por gravedad	Permitir que el transporte siga un flujo dentro de la empresa y que la zona de picking se pueda localizar en el segundo piso.	\$9.943.444
Elevador eléctrico	Aumentar la cantidad de unidades empacadas al segundo piso de 2 a 24 unidades, minimizando la distancia recorrida por los despachadores.	\$22.814.140
Traslado de maquinaria	Minimizar los desplazamientos requeridos por los operarios entre las diferentes áreas relacionadas y aumentar el aprovechamiento de espacio para permitir la entrada de las 3 máquinas de soplado nuevas.	\$56.650.000
Obra de infraestructura	Aumentar la capacidad de almacenamiento y cumplir con los requerimientos de espacio acorde a las máquinas necesarias para la producción a 3 años.	\$100.317.902
Máquinas nuevas	Se determinó la necesidad de adquirir 3 máquinas nuevas para cumplir con la demanda a 3 años.	\$1'874.838.840

Tabla 10. Inversiones requeridas para el proyecto.

Debido a que la inversión inicial requería de 28 días para su ejecución y se afectaría la producción normal de la compañía, se calcularon costos ocultos con base en este tiempo. El costo de producción se estimó en \$680.849.502, costo que asumiría la empresa para tercerizar la producción en este periodo. Otros costos ocultos fueron las reingenierías eléctricas, hidráulicas y los riesgos de contaminación de los lotes almacenados, estimados en \$29.454.120. Finalmente, se incluyeron costos de imprevistos por el 10% de la inversión total (\$206.456.433).

Posteriormente, se estimaron los ingresos causados por estas inversiones. Las entradas causadas por la maquinaria se calcularon como el valor de maquilar estos productos para los 10 años de vida contable de la maquinaria, dando un valor de \$9'378.369.286. Los ahorros generados por la redistribución, la adquisición del elevador y el transportador por gravedad se valoraron en \$544.822.299 relativos al menor requerimiento de personal. Las obras en infraestructura generaron un ahorro en bodegaje para la empresa que se estimó en \$1'096.206.147 para los 10 años. Finalmente, se tuvo en cuenta un escudo fiscal por

depreciaciones y amortizaciones que ascendió a los \$662.611.728 depreciando y amortizando las inversiones en línea recta teniendo en cuenta las normas contables NIC 38.

Para el cálculo del VPN de la inversión se estimó el WACC para la compañía de 18,39%. Analizando los datos de inversiones, costos e ingresos distribuidos en un espacio temporal de 10 periodos anuales se calculó que el VPN del proyecto es de \$2.140.799.099 con una tasa interna de retorno del 39,26%. Estos datos arrojan un retorno de la inversión transcurridos 4,36 años (4 años, 4 meses y 9 días). Se realizaron los mismos cálculos para un escenario pesimista de la producción y uno optimista (manteniendo la temporalidad de las inversiones) que arrojó los resultados ilustrados en la tabla a continuación.

Escenario	Base	Pesimista	Optimista
VPN	\$ 2.140.779.099	\$ 1.153.530.432	\$ 2.581.710.098
TIR	39,26%	29,02%	45,60%
Tiempo de retorno	4,36	6,32	3,63

Tabla 11. Resultados financieros de los diferentes escenarios de producción.

Estos resultados avalan la realización del proyecto para la empresa y demuestran el impacto que genera la redistribución y tecnificación de la planta de ISOPLASTICOS S.A.S. *Actualmente se encuentran en implementación las siguientes propuestas: se realizaron los traslados del área de baños, la ampliación del área de materia prima y se despejó área en la bodega del segundo piso para aumentar el almacenamiento con base en las recomendaciones dadas durante el desarrollo del estudio.*

6. Conclusiones y recomendaciones.

En este trabajo se ha presentado un estudio de la redistribución de planta de una empresa de soplado e inyección de plásticos. Este fue abordado siguiendo una metodología dividida en 4 fases. Una vez finalizada cada una de las fases descritas en el apartado metodología se realizó un análisis de los resultados obtenidos.

En la primera fase se pudo concluir que existen oportunidades de mejora en la distribución actual de la empresa, su aprovechamiento de áreas y los espacios dispuestos. Esto facilitó tomar decisiones frente a la disposición de la maquinaria y la proximidad que debía existir entre ellas para alcanzar los objetivos planteados. También se concluyó que el número de empaques transportados por empleado podría optimizarse con un elevador que permitiese transportar un mayor volumen y con ello, minimizar el número de trayectos recorridos. Debido al posicionamiento de la zona de almacenamiento en el segundo piso, se concluyó que el área de picking debía ser trasladada al mismo nivel. Manteniendo la premisa de minimizar los flujos cruzados, se planteó la idea de un sistema de transporte por gravedad de esta zona a las bahías de cargue.

La segunda fase permitió identificar nuevas oportunidades de mejora en cuanto a la distribución de la planta. Un primer análisis mostró la necesidad de agregar los productos, de acuerdo con sus operaciones críticas, para poder ser proyectada su demanda y facilitar los cálculos posteriores. También determinó la relación entre las diferentes áreas y la posibilidad de estudiarlas como dos procesos lineales (Soplado e Inyectado).

Una vez corrida la primera heurística, se concluyó que esta distribución no contemplaba variables cuantitativas y que, por ello, era necesario emplear una metodología matemática para

optimizar los resultados. El modelo empleado mostró que el área que más cerca debía estar cerca de las máquinas de mezclado, y a la vez, que el área de soplado tenía predominancia sobre la de inyección debido a la mayor cantidad de flujos.

Este modelo matemático por sí solo no ubicaba las máquinas dentro de sus áreas, por ello, fue necesario un algoritmo que permitiera una distribución aproximada. Con la posterior aplicación se dedujo que, mientras mayores requerimientos de materia prima y mayor producción por máquina, se debía tener mayor cercanía con el ascensor y la zona de mezclado. Esta modelación también permitió determinar que dichas zonas debían encontrarse encaradas y al centro de la planta.

La posterior simulación de los 4 escenarios facilitó la toma de decisiones y confirmo los análisis y conjeturas desarrolladas durante el proyecto. Debido a que se modeló un escenario con una mayor capacidad de producción y demanda de la inicial, se observa un mayor transporte de materia prima, que es compensado en gran medida por la disminución del transporte de producto terminado.

La solución escogida fue la segunda distribución encontrada con el algoritmo desarrollado. Esta solución disminuye la distancia total del transporte de producto terminado en un 94,98% y el transporte total de los operarios en un 87,22% (teniendo en cuenta que se tiene una mayor producción). Con las obras realizadas se logra aumentar la utilización de áreas del 50,93% al 86,38% y la capacidad de almacenamiento de 113 a 273 lotes. Con la adquisición de máquinas se aumenta la capacidad de soplado de la empresa de 1'436.687 a 3'513.940 unidades/mes, lo necesario para producir la demanda estimada a diciembre de 2021.

Para finalizar, se concluyó que la empresa debe realizar un plan de expansión de mediano plazo para garantizar su estabilidad en el tiempo. Junto con esto, debido al retorno financiero, se recomienda implantar la solución propuesta en una temporalidad ajustable a sus necesidades. Se aconseja a futuro diseñar políticas de manejo de material que disminuyan la contaminación del ambiente para los empleados y la maquinaria. Esto debido a que les permitiría que disminuyeran la tasa de fallas de los equipos y los tiempos ociosos de los operarios. Como sugerencia final, se plantea a la empresa diseñar un sistema de abastecimiento, y un sistema de control de inventarios que a futuro sea implementable en una nueva planta, asumiendo necesidad de espacio en el largo plazo.

7. Glosario

ABSMODEL2: Modelo no lineal diseñado para problemas de layout de múltiples localizaciones, en el que los departamentos son de forma cuadrada o rectangular y se conoce a priori su orientación física.

ALDEP: Procedimiento de diseño automatizado de distribución en planta.

CORELAP: Computerized relationship layout planning. Planeación computarizada de relación de instalaciones.

CRAFT: Computerized relative allocation of facilities. Asignación relativa computarizada de instalaciones.

Inyección: Proceso de moldeo, en el cual un material fundido en un cilindro caliente se fuerza a través de un bebedero o canal, mediante un émbolo o husillo, hasta la cavidad de un molde cerrado. Es el proceso preferido para la fabricación de piezas de formas complicadas.

Método heurístico: Conjunto de técnicas o métodos para resolver un problema, encontrando una muy buena solución.

Método metaheurístico: Una metaheurística es un método heurístico para resolver un tipo de problema computacional general, usando los parámetros dados por el usuario sobre unos procedimientos genéricos y abstractos de una manera que se espera eficiente. Normalmente, estos procedimientos son heurísticos.

Paca: Unidad de empaque del producto terminado.

Polietileno: Se designa como PE. Homopolímero de etileno

PEP: Tereftalato de polietileno. Polietileno de baja densidad.

PEAD: Polietileno de alta densidad.

PP: Polipropileno. Polímero termoplástico parcialmente cristalino.

PT: Producto terminado.

MP: Materia prima.

Soplado: Método de formación de objetos huecos, al expandir una preforma caliente de plástico contra las paredes internas de un molde. Hay tres procedimientos para conseguirlo: moldeo por extrusión soplado, el cual utiliza un macarrón sin soporte, moldeo por inyección soplado, el cual utiliza una preforma soportada por un perno interior, y moldeo por soplado expandido, utilizado con los dos procedimientos anteriores para conseguir productos biorientados.

SLP: Systematic layout planning. Planeación sistemática de planta.

QAP: Metodología de distribución física para los departamentos de una empresa.

VPN: Valor Presente Neto

TIR: Tasa interna de retorno

8. Referencias

Berk Jonathan & DeMarzo Peter (2014). *Corporate finance 3rd edition*. Pearson.

Bransford, J. D., |, M., Stein, B. S. & Littlefield, J. (1984). *Elaboration and knowledge acquisition. Memory & Cognition*

British Standards Institution (BSI) (2018). *Occupational Health and Safety Assessment Series OHSAS 18001 Y 18002*. BSI group.

De La Torre, M. (2017). *¿Qué compran los Colombianos en los discounters?*. Kantar WordPanel.

Diego-Mas, J. A. (2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportación al control de la geometría de las actividades*. Memoria de la Tesis Doctoral. Publicado por la UPV. Valencia.

Fernández, A. (2018). *Systematic Layout Planning*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Tomado de <http://www.fernandezantonio.com.ar/web.html>

Gómez, C., (2013). *Metodología para la optimización de la distribución de planta de TECMO estructuras Metálicas S.A.* Tomado de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10318/GomezSeguraCarlosEnrique2013.pdf;sequence=1>

Gorra, I., (2008). *Mejora de la productividad industrial*. Instituto Nacional de la Tecnología Industrial. Tomado de: <https://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc63/inti7.php> Heragu, S. S. (2008). *Facilities design*. CRC Press.

Jaramillo D, Uriarte J, Cardona L. (2014) *Redistribución de planta y programación de la producción: Un enfoque integrado*.

Manita, G., Chaieb,L., O, Korbaa. (2015). *a new approach for loop machine layout problem integrating proximity constraints*.

Martínez, A., Lozada, T., Flores, L., Moras, C.,(2012). *Aplicación de simulación y SLP en la empresa “La vieja Molienda de Santa Maty” para mejorar la distribución de sus componentes y*

el uso de sus espacios. Tomado de: [http://www.ito-depi.edu.mx/Evidencias_MII/2\)Estructura_y_personal_academico/Crit4_LGAC/4.2.1%20ProductosdeLGAC/Publicaciones.SAD/SAD12A-02-YA.pdf](http://www.ito-depi.edu.mx/Evidencias_MII/2)Estructura_y_personal_academico/Crit4_LGAC/4.2.1%20ProductosdeLGAC/Publicaciones.SAD/SAD12A-02-YA.pdf)

Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). *Facility Layout Problem: A State-of-the-art Review*. Vilakshan: The XIMB Journal of Management.

Moncayo, M., (2014). *Métodos discretos basados en quimiotaxis de bacterias y algoritmos genéticos para solucionar el problema de la distribución de la planta en celdas de manufactura*. Tomado de: <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/ehost/detail/detail?vid=0&sid=d060075c-00e1-4a4d-81d3-1716da2ee463%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=103735637&db=tnh>

Moslemipour, G., Lee, T. S., & Rilling, D. (2012). *A review of intelligent approaches for designing dynamic and robust layouts in flexible manufacturing systems*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 60(1-4), 11-27.

Muther, R., Hallan, H. M., & Fontseré, L. M. C. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial: (Metodo SLP) (Sistematic Layout Planning)*. Editores Técnicos Asociados.

Osman, I.H.; Kelly, J.P. (Eds.) (1996). *Meta-Heuristics: Theory & Applications*. Kluwer Academic Publishers.

Pérez Gosende (2016). *Evaluación de la distribución espacial de plantas industriales mediante un índice de desempeño*.

Pérez-López, E., García-Cerdas, M., (2014). *Implementación de la metodología DMAIC-Six Sigma en el envasado de licores en Fanal*. Tomado de: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=75548cc2-781d-4187-a42f-3e017dc4cd85%40sessionmgr4008>

Stephens, M. P., & Meyers, F. E. (2013). *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. Procolombia (2016). *El mundo invierte en Colombia, Envases y empaques plásticos*. Tomado de: https://www.inviertaencolombia.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1015:inversion-en-el-sector-empaques-plasticos&catid=88:portadas-sectores

West Lafayette, Indiana: Purdue University Press.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. John Wiley & Sons.

Valorem S.A. (2017). *Estados financieros, indicadores financieros, estados de resultados y hechos relevantes de Valorem S.A*. Tomado de: <https://www.valorem.com.co/assets/uploads/files/21ebd-earnings-release-q2.pdf>