

Rediseño de una planta manufacturera a través de la distribución y orientado al proceso

Rediseño de una planta manufacturera a través de la distribución y orientado al proceso

Redesign of a manufacturing plant through process-oriented layout

Adriana Janneth Díaz Vargas

Magister en Educación con énfasis en Investigación. Docente del Programa de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Iberoamericana. Correo electrónico: adriana.diaz@ibero.edu.co

Jonny Rafael Plazas Alvarado

Magister en Matemáticas. Líder del semillero de investigación SivFI, Corporación Universitaria Iberoamericana. Correo electrónico: jonny.plazas@ibero.edu.co

Resumen

La adecuada distribución de los departamentos en las plantas, tanto de productos como de servicios, son decisiones claves que permiten a las organizaciones determinar la eficiencia a largo plazo de las operaciones; además de establecer parámetros competitivos en cuanto a capacidad, procesos, flexibilidad y costos, sin dejar de lado ventajas como la calidad de vida en el trabajo, el contacto con el cliente y la imagen. El propósito del proyecto es desarrollar un “una distribución en planta (layout) económico que satisfaga los requerimientos competitivos de la empresa, aprovechando al máximo los espacios, equipos y personas con que cuenta; mejorando el flujo de información, materiales y personas, así como la seguridad de las condiciones de trabajo de los colaboradores y la interacción con el cliente; permitiendo adaptarse a los cambios futuros que se puedan presentar, en cuanto a nuevos productos, procesos, maquinaria, equipos, tecnologías, materiales, entre otros. Este documento presenta una propuesta de rediseño de distribución de la planta, basado en los costos de manejo de material que actualmente maneja la empresa, con el objetivo de minimizar dichos costos y maximizar los recursos utilizados en la manufactura de cercas eléctricas, a través de la implementación de un layout orientado al proceso.

Palabras clave: validez factorial; calidad; satisfacción; servicio; distribución en planta; manufactura; manejo de materiales; flujo del proceso.

Abstract

The adequate distribution of the departments in the plants, both for products and services, are key decisions that allow organizations to determine the long-term efficiency of operations; in addition to establishing competitive parameters in terms of capacity, processes, flexibility, and costs, without neglecting advantages such as quality of life at work, contact with the client and image. The purpose of the project is to develop an economic layout that satisfies the competitive requirements of the company, making the most of the spaces, equipment and people it has; improving the flow of information, materials and people, as well as the safety of the working conditions of the collaborators and the interaction with the client; allowing to adapt to future changes that may arise in terms of new products, processes, machinery, equipment, technologies, materials, among others. This document presents a proposal for the redesign of the plant's distribution, based on the material handling costs currently handled by the company, with the objective of minimizing said costs and maximizing the resources used in the manufacture of electric fences, through the implementation of a process-oriented layout.

Keywords: factorial validity; quality; satisfaction; service; plant layout; manufacturing; material handling; process flow.

Introducción

El problema del diseño de las instalaciones es un aspecto significativamente relevante dentro del marco de las estrategias de operaciones comerciales y ha surgido como una estrategia alternativa hacia la sostenibilidad de la cadena de suministro (Pérez-Gosende, Mula y Díaz-Madroñero, 2020). La adecuada distribución de los departamentos en las plantas, tanto de productos como de servicios, son decisiones claves que permiten a las organizaciones determinar la eficiencia a largo plazo de las operaciones; además de establecer parámetros competitivos en cuanto a capacidad, procesos, flexibilidad y costos, sin dejar de lado ventajas como la calidad de vida en el trabajo, el contacto con el cliente y la imagen (Tompkins, 2006).

La esencia de la mejora de la línea de producción radica en el análisis continuo de los procesos realizados; el diseño de las instalaciones, elementos que componen la línea de producción, juega un papel crucial en la mejora de la producción (Kikolski y Ko, 2018). Uno de los proyectos que debe considerar la empresa para el logro de sus objetivos es la planificación del trazado de las instalaciones de la fábrica, donde este factor juega un papel fundamental en el aumento de su productividad (Haekal y Adi, 2020).

Ahora bien, se inició con la descripción y diagnóstico de la planta, en cuanto a manejo y movimiento de material, basados en tiempos, distancias, cargas, viajes y costos entre

departamentos. Estos datos permitieron conocer el costo actual que devenga el transporte y manejo del material mensual, por la referencia de más producción en la planta.

A través de herramientas de ingeniería, específicas de distribución en planta, como lo son los diagramas de relación de actividades, los cuales permitieron determinar los departamentos que por conveniencia deben estar cerca entre sí; se procedió a establecer los costos actuales que devenga la empresa por manejo y transporte de material anuales, en la producción de cercas 40 K. Se basó en las distancias en metros entre departamentos, así como las cargas semanales que manejan entre ellos, y el costo de transportar el material por metro recorrido. Estos valores son registrados en un diagrama “de-hacia” para su mejor comprensión.

Se logra determinar los departamentos entre los cuales se mueve el mayor flujo de material, por consiguiente, también generan el mayor costo de este. El propósito del proyecto es presentar una redistribución en una planta ya existente, a través de *layout* orientado al proceso, con el fin de reducir costos de manejo de material. Como herramienta para la toma de decisiones, se utilizaron los softwares de AutoCad y POM. Se presentan 2 alternativas de distribución de los departamentos, determinando la mejor opción que cumpla con los objetivos de la empresa y minimice los costos de manejo y transporte de material (Rivera et al., 2012).

Metodología

En esta investigación, para el análisis del problema se toma como metodología los 9 pasos propuestos por Bozer, Meller y Erlebacher (1994), para solucionar problemas de distribución de planta:

1. Determinar la compatibilidad de los modelos de distribución de manejo de materiales con el problema bajo estudio.
2. Encontrar todos los factores que puedan modelarse como flujo de materiales.
3. Determinar las subunidades básicas para el análisis. Determinar la definición apropiada de un departamento o de una subunidad.
4. Se debe usar un modelo matemático o computacional, determinar la compatibilidad de la naturaleza de los costos en el problema y en el modelo. Es decir, si el modelo supone que los costos de manejo de materiales son lineales e incrementales, determinar si estos supuestos son realistas.
5. ¿Qué tan sensible es la solución a los supuestos de los datos de flujo? ¿Cuál es el impacto de los cambios aleatorios en estos datos?
6. Reconocer las idiosincrasias del modelo y tratar de encontrar mejoras.
7. Examinar los aspectos a largo plazo asociados con el problema y las implicaciones a largo plazo de la solución propuesta.
8. Considerar el problema de distribución como un problema de sistemas.

9. Ponderar la importancia de los factores cualitativos.
10. Seleccionar la herramienta apropiada para el análisis.

Problema de investigación.

Dentro de la problemática de la empresa se evidencia que no cuenta con un estudio previo respecto a la distribución y diseño de la planta, sino que se han venido adaptando las instalaciones y los procesos a medida que va creciendo y de acuerdo con las necesidades que surgen. La gerencia es consciente de las condiciones ambientales (ventilación, iluminación, ruido, orden y limpieza) inadecuadas en las instalaciones. Se reconoce una pérdida de material del 3% aproximadamente.

Otras de las problemáticas que presenta la empresa es el abundante material en proceso almacenado, maquinaria anclada, sin dispositivos de seguridad y de movimiento para ser trasladadas con facilidad. Esto genera poca flexibilidad al momento de cambios en el proceso para nuevos productos; deficiencia en el diseño de los puestos de trabajo, falta de ergonomía en los mismos; lo que ocasiona retrasos de hasta tres días en las entregas al cliente y sobrecostos de \$500.000 por lote en el manejo de material, generado del transporte, instalación y personal que no estaba programado. También se observó la falta de aprovechamiento de los espacios en el área total del segundo piso, donde se centra el mayor número de procesos de producción, este era del 40% del área total, al igual que el mal estado y lo poco frecuente del mantenimiento de la maquinaria y equipos.

Caracterización del área de producción.

En las líneas de producción de la empresa, se evidencia, exactamente 11 "cruces" entre los procesos; es decir, no hay una secuencia específica para realizar ciertas tareas debido a que los procesos no están estandarizados. Por otra parte, no existe un sistema de inventario de materiales y genera un elevado producto en proceso, llegando a utilizar los pasillos para su almacenaje, lo que impide el correcto flujo del material, obstaculizando el paso de los colaboradores. En consecuencia, deben desplazarse de sus puestos de trabajo para poder adquirir material y realizar su labor; esto se debe a que no se manejan mecanismos para el transporte del material, lo cual facilitaría el trabajo.

A su vez, existe otra falencia referente a las condiciones ambientales debida a la deficiente iluminación en algunos puestos del trabajo; además de la falta de limpieza y orden en la planta en general. También se encuentra el mal almacenamiento: cajas en el suelo y material fuera de lugar o en ubicaciones con dificultad para ser alcanzadas, daños en materiales almacenados por razones locativas, elevadas cantidades de material.

Cabe también mencionar el mal manejo de la información y la poca comunicación entre las áreas de trabajo. Esto ofrece una mala comunicación y aislamiento del trabajo. Además, se encuentran lejanía de las primeras operaciones a los centros de recepción al igual que excesivos.

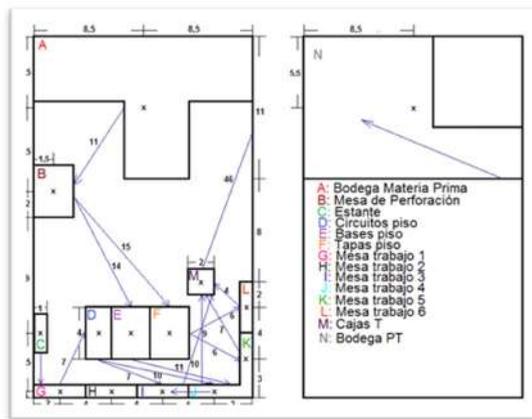
Aplicación de la metodología.

Al determinar la compatibilidad de los modelos de distribución de manejo de materiales con el problema de la distribución en la planta manufacturera de la empresa, se concluyó que lo más adecuado es la distribución por procesos, *layout* orientado al proceso. Luego, se encuentran todos los factores que desplazamientos de parte de los colaboradores. Debido a las condiciones de operación y a los objetivos generales de la empresa es importante contar con una distribución flexible de las instalaciones que permita atender y adaptarse a cambios de nuevas propuestas, sin que afecte los niveles de producción requeridos para cumplir con la demanda y sin que requiera mayores inversiones en ajustes o modificaciones.

También, es de vital importancia asegurar una circulación fluida del proceso, sin contar con esperas y demoras por desplazamientos que se presenten y afecten el nivel de producción. Para la redistribución de la planta se aborda el *layout* orientado a procesos, porque se aplica en la producción por lotes, como es el caso de cada lote de cercas que se aproxima a las 100 unidades de cada referencia. Con base en lo que expone Muther (1970), esta empresa manufacturera se clasifica en *layout* por proceso, porque atiende ciertas características determinantes en este tipo de distribución y puedan modelarse como flujo de materiales, en este caso, las distancias en metros entre las estaciones de trabajo, las cargas que se transportan. Estas se miden en número de viajes entre las áreas de trabajo y los costos de manejo de materiales entre las mismas.

Para entender mejor la distribución de planta que presenta la empresa actualmente, se diseñó un diagrama donde se observan las 2 plantas de la empresa con sus distribuciones de áreas de trabajo, proporcionales al tamaño real y lugares de servicio; al igual que se muestra el flujo del proceso seleccionado, dentro de la planta, como se muestra en la figura 2. También se determinan las necesidades de espacio para cada departamento y el espacio en planta disponible.

Figura 1. Dimensiones de la planta (metros) y *layout* actual de los departamentos



El proceso de producción para el análisis se seleccionó por criterio del gerente, el cual genera el costo más elevado de manejo de materiales, debido a su alto volumen de producción; es decir, el producto que más demanda presenta en la actualidad. En este caso es el proceso de producción de controles eléctricos de 40k, el cual se describe en la figura 2.

Se continúa con la caracterización del proceso de producción seleccionado, con respecto a la distribución de las áreas de trabajo, capacidad, proceso, tiempos de desplazamientos, viajes, tareas, cargas o lotes. Lo anterior, con el fin de hallar los costos actuales del manejo de material que genera la empresa, para la producción de cerca 40 K.

Como herramienta para el análisis del flujo de material, se utilizan diagramas “de – hacia”. Para esta investigación se utilizaron los siguientes diagramas: el número de viajes de manejo de materiales por día entre 2 estaciones de trabajo o departamentos, el diagrama que registra las distancias entre las áreas y, por último, el diagrama que registra el costo de transporta el material entre las estaciones de trabajo (Niebel, 2009).

En la tabla 1 se registran las distancias que debe recorrer el material entre las estaciones de trabajo, basadas en los recorridos que hace el material dentro de la planta de producción, para la elaboración de controles eléctricos de 40K.

Figura 2. Flujograma del proceso de producción de controles eléctricos de 40 K

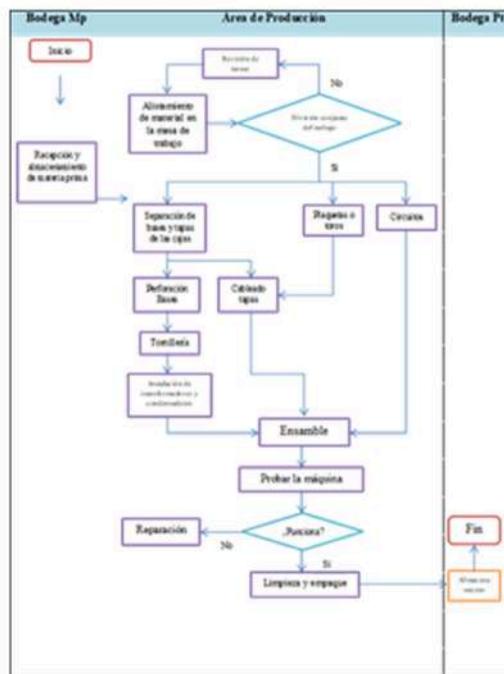


Tabla 1. diagrama de-hacia de distancias en metros

	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N
A		11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-		-	-	14	15	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-		-	-	-	45	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-		-	-	-	7	10	-	-	-	-
E	-	-	-	-		-	-	-	11	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-		-	-	-	6	6	-	-
G	-	-	-	7	-	-		-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	9	-
J	-	-	-	-	-	-	-	4		-	-	9	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	7	-
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		4	-
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A continuación, se construye el diagrama “de-hacia” que muestre el flujo de componentes, en este caso el número de viajes que realiza el material por día. En la tabla 2 se muestra el número de viajes realizados para producir un lote de 100 controles eléctricos de 40k diarios, de acuerdo con el flujo que sigue el producto.

Tabla 2. Diagrama “de-hacia” número de viajes (lote/diario)

	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N
A		7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-		-	-	10	5	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-		-	-	-	1	1	-	-	-	-
E	-	-	-	-		-	-	-	10	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-		-	-	-	5	5	-	-
G	-	-	-	1	-	-		-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	5	-
J	-	-	-	-	-	-	-	10		-	-	3	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	5	-
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		4	-
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

El siguiente paso fue desarrollar un diagrama esquemático inicial que muestre la secuencia de departamentos a través de los que se transporta el material. En la figura 4 se muestra el gráfico que registra este flujo entre los departamentos.

Cuando se diseña un layout orientado al proceso, la estrategia es colocar los departamentos o áreas de trabajo, de forma que se minimicen los costos del transporte del material. Para entender mejor, se deben colocar juntos los departamentos con grandes flujos de material entre ellos, personas o componentes. El costo de manejo de materiales en este enfoque depende del número de cargas o personas a mover entre 2 departamentos durante un periodo de tiempo; así como los costos relacionados con la distancia entre secciones o departamentos (Konz, 2001).

Para hallar los costos de manejo de material entre los departamentos, es decir, lo que cuesta transportar el material entre departamentos; se asume que el costo es una

función de la distancia entre secciones. Se puede expresar la función objetivo como se presenta en la ecuación 1 (Hillier y Lieberman, 2010):

$$\text{Minimizar costos} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} C_{ij} \quad \text{Ecuación 1}$$

- n= número de estaciones de trabajo o secciones.
- i, j = secciones individuales.
- X_{ij}= número de cargas movidas de la sección i a la sección j
- C_{ij}= costo de transportar una carga entre la sección i y la j.

Las instalaciones orientadas al proceso, y también las organizaciones de posición fija, tratan de minimizar el producto de las cargas o desplazamientos por los costos relacionados con la distancia. El termino C_{ij} combina la distancia y otros costos en un solo factor. De este modo, se da por sentado que no solo la dificultad del transporte es igual, sino que los costos de recogida y entrega son constantes. Aunque no siempre son constantes, para simplificar se toman los datos como costo, dificultad y costos de recogida y entrega, en esta única variable.

Un problema en el flujo del material se evidenció en la falta de mecanismos para el transporte del material, lo hacen los operarios en cajas, cargándolas manualmente. El costo se toma entonces, como el valor por metro recorrido del material, multiplicado por la distancia entre los departamentos y por el número de viajes realizados.

Para hallar el costo por metro de los recorridos se basó en las distancias recorridas, las cuales se muestran en la figura 3. Se tomó el valor del salario de los colaboradores, el cual equivale a \$781.242 pesos colombianos (SMLV), como base mensual. Es decir, teniendo en cuenta que se laboran ocho horas diarias, durante seis días a la semana y que el tiempo promedio de recorrido por metro es de tres segundos, de parte de los colaboradores. Se establece entonces que el metro recorrido del material tiene un costo de \$3,3908 diariamente, teniendo en cuenta que se producen cinco lotes de 100 unidades de controles eléctricos de 40K al día. Estos costos se registran en la tabla 3.

Tabla 3. Costo diario de recorrido del material entre departamentos por lote (pesos)

	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N
A		\$ 522,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-		-	-	\$ 950,04	\$ 508,95	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-		-	-	\$ 30,54	-	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-		-	-	\$ 47,50	\$ 67,86	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-		-	-	\$ 746,46	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-		-	-	\$ 203,58	\$ 203,58	-	-	-
G	-	-	-	\$ 47,50	-	-		-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	\$ 305,37	-
J	-	-	-	-	-	-	-	271		-	-	\$ 183,22	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	\$ 237,51	-
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		\$ 108,58	-
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		\$ 814,32
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Por consiguiente, el costo de transporte entre los departamentos se halla de la siguiente forma:

$C_{ij} = (\text{distancia entre los departamentos } i - j) * (\text{Costo del metro recorrido del material}) * (\text{número de viajes entre los departamentos } i - j)$

$$CAB = 11 * 3,3908 * 7 = \$261,0916$$

$$CBE = 14 * 3,3908 * 10 = \$474,712$$

$$CBF = 15 * 3,3908 * 5 = \$254,31$$

$$CCG = 4 * 3,3908 * 1 = \$13,5632$$

$$CDI = 7 * 3,3908 * 1 = \$23,7356$$

$$CDJ = 10 * 3,3908 * 1 = \$33,908$$

$$CEJ = 11 * 3,3908 * 10 = \$372,988$$

$$CFK = 6 * 3,3908 * 5 = \$101,724$$

$$CIM = 9 * 3,3908 * 5 = \$152,586$$

$$CJM = 9 * 3,3908 * 3 = \$91,5516$$

$$CKM = 7 * 3,3908 * 5 = \$118,678$$

$$CLM = 4 * 3,3908 * 4 = \$54,2528$$

$$CMN = 60 * 3,3908 * 2 = \$406,896$$

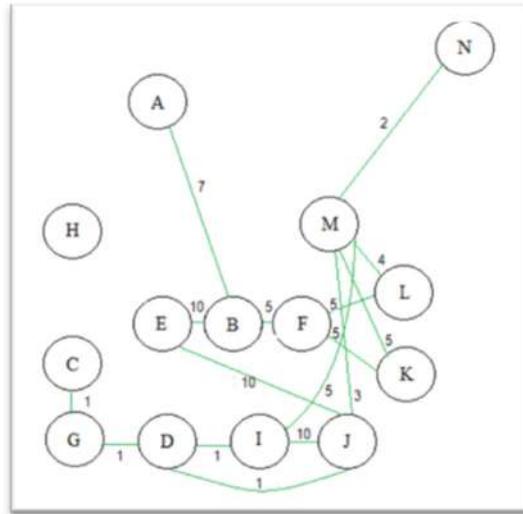
$$CGD = 7 * 3,3908 * 1 = \$23,7356$$

De lo anterior, se deduce que a la empresa le cuesta \$2.522,7552 al día por lote, transportar el material entre los departamentos. En ese sentido, el movimiento de material tiene un costo de \$302.730,624 mensual para cumplir con la producción de 120 lotes / mes de los controles eléctricos de 40K. El costo anual por manejo de materiales corresponde a \$3.632.767,488, con el *layout* actual.

Por último, utilizando el método ensayo error, y con ayuda del software POM para Windows, se intenta mejorar la distribución en planta el *layout* representado en la figura 5, para establecer un *layout* razonablemente bueno de los departamentos. Basándose en el gráfico de flujos, como en los cálculos de costos y, teniendo en cuenta que los departamentos A y N, que corresponde a la bodega de materia prima y la bodega de producto terminado respectivamente; no se pueden mover de lugar debido a la infraestructura de estas. Parece razonable acercar el departamento M al departamento N, al igual que tratar de acercar los departamentos E y J, y los departamentos B y E, los cuales manejan un alto volumen de movimiento de material entre ellos, lo que provoca un elevado costo de manipulación. Sería conveniente hacer referencia al hecho de que entre estos departamentos se generan mayores costos de manejo de materiales que, entre los demás departamentos, incluso, se pueden indicar los costos correspondientes.

Además, se tiene en cuenta que las zonas de piso, es decir, donde se deja el material para ser procesado, no son fijas por lo cual pueden moverse, teniendo en cuenta la disponibilidad de los espacios. En la figura 5, se presenta la propuesta del gráfico de flujo entre departamentos.

Figura 5. Flujo de materiales, en función de la propuesta



$$\text{Minimizar costos} = (14 \cdot 3,3908 \cdot 7) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 10) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (4 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (6 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (14 \cdot 3,3908 \cdot 7) + (4 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (9 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (9 \cdot 3,3908 \cdot 3) + (7 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 4) + (60 \cdot 3,3908 \cdot 2) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 1) =$$

$$332,2984 + 101,724 + 50,862 + 13,5632 + 10,1724 + 20,3448 + 332,2984 + 101,724 + 152,586 + 91,5516 + 118.678 + 40,6896 + 406,896 + 10,1724 = \$1.783,5608 \text{ por lote al día.}$$

De cual se dedujo el costo de manejo de material de la propuesta, que corresponde a \$1.783,5608 al día por lote * 5 lotes * 24 días = \$214.027,296 mensual, que corresponde a \$2.568.327,552 anuales.

Para complementar las decisiones sobre la mejor ubicación de los departamentos en la planta manufacturera, mejorando el flujo de material dentro del proceso de producción y minimizando los costos de transporte del material; se aplica la herramienta de diagrama de relación de actividades el cual lo definen Hillier y Lieberman (2010), como un medio gráfico con el que se representa la conveniencia de ubicar pares de operaciones cercanas entre sí.

Para el diagrama de relaciones se han sugerido los siguientes códigos de letras para determinar una clasificación de cercanía (Vischer, 1995):

A. Absolutamente necesario. Como 2 operaciones pueden usar el mismo equipo o las mismas instalaciones, deben localizarse cercanas entre sí.

Resultados

Se estima que más del 20 al 50% de los gastos totales de operación en que se incurre dentro del área de fabricación, se pueden atribuir a la disposición de la planta y que una distribución eficiente reduce probablemente esos costos por los menos del 10 al 30%. En la planta de producción, actualmente los costos de manejo de material ascienden a \$3.632.767,488 anuales con el *layout* actual, para la fabricación de controles eléctricos de 40K con una producción de 12.000 unidades mensuales.

Con la reubicación de las estaciones de trabajo propuesto (figura 6) para la empresa, los costos de manejo de material se reducen en un 29,3% al año. El ahorro de la empresa en dichos costos es de \$\$1.064.439,936 anuales.

Es necesario la implementación de un mecanismo para el transporte del material. Los almacenamientos, tanto de materia prima como de producto terminado, se encuentran en el segundo piso y no es recomendable bajarlos de nivel, por la infraestructura actual del edificio. La más conveniente y económica propuesta para resolver este problema de flujo de material es un elevador manual que soporte los lotes de producción. Cuando se den modificaciones tecnológicas se debe evaluar el desempeño de los sistemas de transporte en la planta o bajo parámetros diferentes.

Con base en la propuesta presentada en este proyecto, para el rediseño de la planta se propone un diseño flexible en las instalaciones que permita adaptarse rápidamente a cambios en la demanda, en la introducción de nuevos productos; sin perjudicar los niveles de producción demandados actualmente.

El rediseño presentado como mejoramiento del proceso de producción, aparte de reducir los costos de manejo de material; está garantizando un lugar de trabajo con circulación fluida de las personas y materiales, sin reprocesos. En lo posible, evitando el cruce en el flujo del material, eliminando costos innecesarios y paradas de la producción, esperas y demás.

Mediante la utilización del software POM se pudo deducir del análisis cuantitativo la visualización de mejoras al acercar las estaciones de trabajo. Parece razonable acercar el departamento M al departamento N, al igual que tratar de acercar los departamentos E y J, y los departamentos B y E, los cuales manejan un alto volumen de movimiento de material entre ellos, lo que provocan los costos más elevados de manejo y transporte de material en el proceso.

Es importante mantener un equilibrio entre el transporte en la planta y la capacidad del proceso, al igual que la interacción entre estas dos variables; ya que impactan directamente en el desempeño de la distribución en planta de la empresa.

Conclusiones

Es aconsejable y además muy probable, ya que se dispone del espacio en la planta, la instalación de un ascensor por poleas manual. Esto genera un costo estimado de \$6.000.000 permitiendo reducir los tiempos de desplazamiento del material en un 25%; lo que facilita el transporte del producto terminado a la bodega de almacenamiento, así como el desplazamiento del material a la primera estación de trabajo.

Las clasificaciones de cercanía se representan en un diagrama de relación de actividades que especifica la clasificación apropiada para cada departamento. La empresa cuenta con 13 departamentos o puestos de trabajo, el diagrama de relaciones de actividades se construyó con base en los costos (tabla 3), siendo A el costo más elevado y U el costo más bajo. Del diagrama de actividades, representado en la figura 7, se puede observar que la bodega de producto terminado se encuentra en el segundo piso, lo que genera desplazamientos muy largos de parte los colaboradores, con cargas del producto, por escaleras.

Como se puede observar la propuesta seleccionada es la mejor elección ya que disminuye los costos de manejo de material en \$88.703,328 mensuales; es decir, un total de ahorro en costos de movimiento del material entre departamentos de \$1.064.439,936 anuales, implementando esta propuesta en la empresa.

Otra de las alternativas de solución fue: Minimizar costos = $(11 \cdot 3,3908 \cdot 7) + (14 \cdot 3,3908 \cdot 10) + (16 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (4 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (6 \cdot 3,3908 \cdot 1) + (11 \cdot 3,3908 \cdot 7) + (4 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (9 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (9 \cdot 3,3908 \cdot 3) + (7 \cdot 3,3908 \cdot 5) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 4) + (60 \cdot 3,3908 \cdot 2) + (3 \cdot 3,3908 \cdot 1) =$

$261,0916 + 474,712 + 271,264 + 13,5632 + 10,1724 + 20,3448 + 372,988 + 67,816 + 152,586 + 91,5516 + 118,678 + 40,6896 + 406,896 + 10,1724 = \$2.312,5256$ por lote al día

El costo de manejo de material de la propuesta es de $\$2.312,5256 \cdot 5$ lotes $\cdot 24$ días = \$277.503,072 mensual. Más elevado que el seleccionado y con ciertas restricciones de localización de departamentos.

Para establecer un *layout* razonablemente bueno de los departamentos, basándose en el gráfico de flujos, como en los cálculos de costos; teniendo en cuenta que los departamentos A y N, que corresponde a la bodega de materia prima y la bodega de producto terminado respectivamente; no se pueden mover de lugar debido a la infraestructura de estas. Parece razonable acercar el departamento M al departamento N, al igual que tratar de acercar los departamentos E y J, y los departamentos B y E, los cuales manejan un alto volumen de movimiento de material entre ellos, lo que provoca un elevado costo de manipulación. Sería conveniente hacer referencia al hecho de que entre estos departamentos se generan mayores costos de manejo de materiales, que, entre los demás departamentos, incluso, se pueden indicar los costos correspondientes.

Además, se tiene en cuenta que las zonas de piso, es decir, donde se deja el material para ser procesado, no son fijas por lo cual pueden moverse, teniendo en cuenta la disponibilidad de los espacios.

Referencias

- Bozer, Y., Meller, R. y Erlebacher, S. (1994). An improvement – Type Layout Algorithm for Single and Multiple Floor Facilities. *Management Science*, 40(7), 809-945. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.7.918>
- Haekal, J. y Adi, D. (2020). Planning Of Production Facilities Layouts in Home Industry With The Systematic Layout Planning Method. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 7(10), 147-153. http://ijiset.com/vol7/v7s10/IJISSET_V7_110_18.pdf
- Hillier F. y Lieberman G. (2004). *Introduction to operations research* (8a ed.). McGraw Hill.
- Kikolski, M. y Ko, C. (2018). Facility layout design – review of current research directions Engineering Management in Production and Services, 10(3), 70-79. <http://dx.doi.org/10.2478/emj-2018-0018>
- Konz, S. (2001). *Diseño de instalaciones industriales* (4ª ed.). Limusa.
- Meyers, F. y Stephens, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales* (3ª ed.). México: Pearson.
- Muther, R. (1970). *Distribución en planta* (4ª ed.). Editorial Hispano Europea.
- Niebel, B. (2009). *Ingeniería industrial: Tiempos, métodos y movimientos* (12ª ed.). Alfa Omega.
- Pérez-Gosende, P., Mula, J. y Díaz-Madroñero, M. (2020). Overview of Dynamic Facility Layout Planning as a Sustainability Strategy. *Sustainability*, 12(19), 1-16. <http://dx.doi.org/10.3390/su12198277>
- Rivera, L., Cardona, L., Vásquez, L. y Rodríguez, M. (2012). Selección de alternativas de redistribución de planta: Un enfoque desde las organizaciones. *Revista Sistemas & Telemática*, 10(23), 9-26. <https://doi.org/10.18046/syt.v10i23.1366>
- Tompkins, J. (2006). *Planeación de instalaciones*. Editorial Paraninfo.
- Vischer, J. (1995). Strategic Work – Space Planning. *Sloan Management Review*, 37(1), 33-42.

