

PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE MUEBLES

REINALDO PEÑA VARGAS

ISABELLA VÉLEZ TORO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2025

PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE MUEBLES

REINALDO PEÑA VARGAS

ISABELLA VÉLEZ TORO

Trabajo de grado para obtener al título de:

Ingeniero Industrial

DIRECTOR

Ing. Mag. ÁLVARO JOSÉ TORRES PENAGOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUADALAJARA DE BUGA

2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por concederme sabiduría, fortaleza y salud para dar como culminada esta etapa tan importante, A mis padres, por su apoyo constante y grandes enseñanzas. Y a mis profesores, por impartir su conocimiento con exigencia y dedicación, sirviendo como guía en mi proceso académico con vocación y compromiso. Cada uno fue fundamental para alcanzar esta gran meta.

CONTENIDO

	Pág.
<i>INTRODUCCIÓN</i>	8
<i>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	10
<i>1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA</i>	10
<i>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i>	13
<i>2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</i>	14
<i>2.1. OBJETIVO GENERAL</i>	14
<i>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	14
<i>3. MARCO REFERENCIAL</i>	15
<i>4. SISTEMA PRODUCTIVO Y ESTADO ACTUAL DE LA FÁBRICA</i>	18
Estudio de factores productivos.....	21
Distribución actual.....	24
Método Guerchet	28
<i>Aplicación del método Guerchet</i>	29
<i>Centroides</i>	31
<i>Distancia euclidiana</i>	31
<i>5. DESARROLLO DE MÉTODOS Y PROPUESTAS DE REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA</i> 32	
Revisión en la literatura.....	32
Restricciones.....	35
Método SLP (Systematic Layout Planning)	36
Propuesta 1	44
Propuesta 2	45
Propuesta 3	47
Propuesta método CRAFT.....	48
<i>Método CRAFT</i>	49
<i>6. EVALUACION DEL INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD</i>	50
<i>7. RESULTADOS</i>	53
<i>8. CONCLUSIONES</i>	58
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	61

ANEXOS.....	64
-------------	----

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1. Acumulación de producto terminado.....</i>	11
<i>Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de bases de cama.....</i>	19
<i>Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de sofás cama.....</i>	20
<i>Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de cabeceros.....</i>	21
<i>Figura 5. Distribución actual de la empresa.....</i>	24
<i>Figura 6. Flujo del proceso de los sofás.....</i>	26
<i>Figura 7. Flujo del proceso de los cabeceros.....</i>	26
<i>Figura 8. Flujo del proceso de las bases de cama.....</i>	27
<i>Figura 9. Representación gráfica de la distribución actual.....</i>	39
<i>Figura 10. Representación gráfica segunda planta.....</i>	39
<i>Figura 11. Diagrama de nodos distribución actual.....</i>	40
<i>Figura 12. Matriz de distancia de la distribución actual.....</i>	42
<i>Figura 13. Matriz de flujo de la distribución actual.....</i>	43
<i>Figura 14. Diagrama de nodos primera propuesta.....</i>	44
<i>Figura 15. Representación gráfica de la propuesta de distribución.....</i>	45
<i>Figura 16. Diagrama de nodos segunda propuesta.....</i>	46
<i>Figura 17. Representación gráfica de la propuesta de distribución.....</i>	46
<i>Figura 18. Diagrama de nodos tercera propuesta.....</i>	47
<i>Figura 19. Representación gráfica de la propuesta de distribución.....</i>	48
<i>Figura 20. Representación gráfica de la propuesta CRAFT.....</i>	49
<i>Figura 21. Layout de la propuesta.....</i>	55
<i>Figura 22. Diagrama de recorrido de la propuesta de los sofás.....</i>	57
<i>Figura 23. Diagrama de recorrido de la propuesta de los cabeceros.....</i>	57
<i>Figura 24. Diagrama de recorrido de la propuesta de las bases cama.....</i>	58

Tabla 1. Unidades de carga.....	27
Tabla 2. Cálculo de la necesidad de área del departamento de corte y costura.....	29
Tabla 3. Comparativo de necesidad de área obtenida mediante el método Guerchet con la disposición actual.	30
Tabla 4. Valor total de cercanía (TCR).	36
Tabla 5. Diagrama de relaciones.	37
Tabla 6. Áreas departamentos.	38
Tabla 7. Cálculo de centroides.	41
Tabla 8. Centroides de la distribución actual	41
Tabla 9. Comparativo de indicador de productividad.	50
Tabla 10. Comparativo de tiempo de transporte interno.	51
Tabla 11. Posibles unidades para fabricar de más de cada producto con cada propuesta.	52
Tabla 12. Costo de transporte interno.....	52
Tabla 13. Costo de implementar la propuesta.....	55
Tabla 14. Índice de costo-beneficio.....	55

RESUMEN

En una fábrica de muebles ubicada en la ciudad de Tuluá, fueron identificados diversas problemáticas derivadas de una mala disposición de las áreas, lo que resulta en acumulación de material, recorridos innecesarios hasta de 80 metros por unidad, retrasos en las entregas que afectaban el 40% de los pedidos. Mediante un enfoque técnico, se elaboró un diagnóstico general del sistema productivo, gracias a la aplicación de herramientas como el método de Guerchet el cual proporciona la necesidad real del área, así mismo el método SLP y CRAFT para rediseñar la ubicación de los departamentos, considerando relación entre áreas, restricciones físicas, flujo de materiales y condiciones ergonómicas, todo esto con el objetivo de reducir distancias, optimizar el espacio disponible y mejorar la secuencia de operaciones.

En este sentido se desarrollaron y evaluaron cuatro propuestas de distribución, mediante la priorización de áreas con un alto índice de relación (TRC). La propuesta mejorada con el método CRAFT, evidenció mejores resultados, una reducción del 26% en las distancias recorridas, en términos del ahorro de horas de transporte interno con un estimado de 184 horas y una mejora del indicador de productividad del 17.65%. Si bien esta redistribución involucra una inversión en la infraestructura, apoya la idea de aumentar la capacidad operativa sin requerir a inversiones en personal o maquinaria. Dado lo anterior, la aplicación de estos métodos evidencia como una distribución fundamentada puede ser un impulsor de la mejora continua, impactando directamente en el eficiencia, rentabilidad y capacidad de respuesta de la empresa.

Palabras claves: Systematic Layout Planning (SLP), Método CRAFT, productividad, distribución en planta, flujo de materiales, transporte interno, distancia total, rediseño, mejora.

INTRODUCCIÓN

La distribución en planta es un aspecto fundamental para la operación y el desarrollo de instalaciones de manufactura, debido a que, está directamente relacionada con la eficiencia de los procesos, la productividad de la mano de obra y los costos de operación y la capacidad de una empresa para competir en el mercado, entendiéndose esta como la ordenación física de los elementos presentes en una compañía que permiten desarrollar productos y servicios como mano de obra, materiales, herramientas y las áreas de la organización (Heizer y Render, 2009, p. 348). Así como una planificación adecuada de las instalaciones en una organización puede mejorar el flujo de los materiales, reducir los tiempos de ciclo que no están asociados a la maquinaria, minimizar el transporte interno de los materiales y maximizar el uso de los espacios disponibles (Muther, 1981, p. 15 –17).

El objetivo principal de la investigación es analizar y proponer una nueva distribución en planta que permita reducir el flujo de los materiales en el entorno de producción de muebles a base de madera con la finalidad de evidenciar cambios en la productividad. Se parte desde el análisis de la situación actual, identificando las principales problemáticas y áreas de mejora. En el cuerpo del trabajo se desarrollan estrategias basadas en la ingeniería como diagramas de flujo, de recorrido, para caracterizar y redistribuir el espacio de manera que se reduzca el tiempo de traslado, el movimiento de los materiales y las distancias recorridas.

Para analizar la problemática presente en la empresa es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la acumulación de materiales tanto de materia prima, como productos en proceso y terminados en las distintas áreas de trabajo de la empresa. Afectando los tiempos de entrega de los pedidos, resultando en un retraso significativo de estos y en la devolución de productos terminados. Otra causa, es el recorrido innecesario de los productos en proceso, los cuales derivan en la aparición de contraflujos, que aumentan las distancias recorridas y el uso de tiempo de producción.

El interés de la investigación radica en buscar mejoras de los procesos productivos y en el aumento de la productividad de una empresa, para facilitar la operación diaria y satisfacer a los clientes, esto visto desde la perspectiva de la ingeniería industrial y en la aplicación de las distintas metodologías desarrolladas a lo largo de la carrera.

Para llevar a cabo esta propuesta, se seguirán distintos pasos metodológicos donde se identificará la problemática que abarca la empresa, a través de la observación tanto de los autores del trabajo como de las personas encargadas de la producción y de tareas administrativas basada en datos obtenidos durante la práctica y en la justificación de la problemática por medio de la revisión de literatura. Asimismo, el marco referencial como los antecedentes proporcionan el contexto teórico y conceptual necesario para abordar el problema de la investigación de manera fundamentada y coherente, que actúa como una guía que ayuda a delimitar y definir el alcance del trabajo, asegurando que se encuentre alineada con el conocimiento existente y las teorías asociadas al campo de estudio. Se mencionan las actividades necesarias para cumplir con los objetivos relacionados. A través de diagnósticos, recopilación de datos, que permitan definir las alternativas y la selección de la mejor.

Finalmente, este trabajo no solo pretende presentar una nueva disposición física de los elementos en la planta de producción, sino que también busca demostrar cómo una distribución en planta bien planificada puede ser un promotor para la mejora continua, incrementando la competitividad y sostenibilidad de la empresa. Mediante la mejora del flujo de materiales y la reducción de tiempos y costos, para lograr una operación más eficiente y alineada a las demandas del mercado actual.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Por la creciente competitividad entre organizaciones, variedad de productos y otros factores, las industrias han tenido que adaptarse a los cambios en el mercado, los cuales conllevan a fluctuaciones inesperadas en la demanda, la cual no podrá atenderse totalmente si no se cuenta con una adecuada distribución de sus instalaciones, pues permite que la producción sea flexible, es decir, variar su capacidad de producción sin problema. Como lo dice Muther, (1981) “una adecuada distribución en planta permite la continuidad de la producción en casos como: avería de maquinaria o equipo, escasez de material, ausencia de trabajadores”.

Las decisiones relativas a la distribución implican determinar la ubicación de departamentos, grupos de trabajo de los departamentos, estaciones de trabajo y puntos donde se guardan las existencias en una instalación productiva. El objetivo es ordenar estos elementos de manera que se garantice el flujo continuo del trabajo, como en una fábrica o un patrón de tránsito dado, como en una organización de servicios (Chase y Jacobs, 2011). Además, el equilibrio entre los tiempos de operación y el trabajo de cada departamento de una empresa es en parte obra de una buena distribución, es decir, cuando se presenta estabilidad entre las operaciones que requieren el mismo tiempo es posible eliminar casi por completo las veces en que el material debe detenerse.

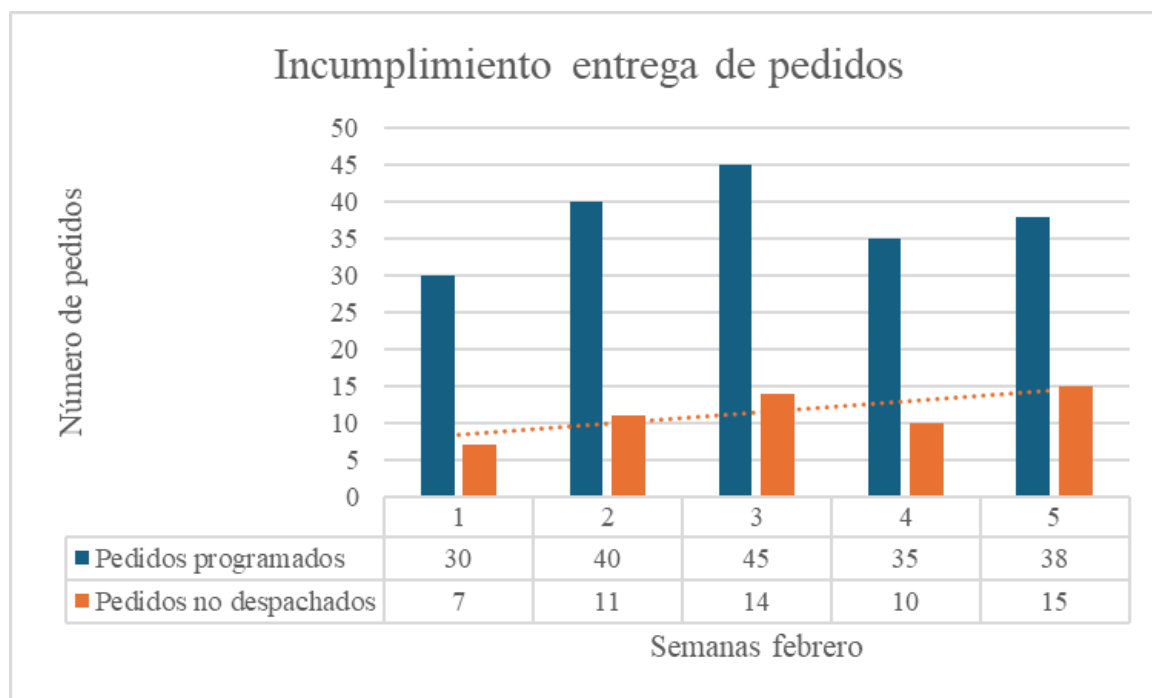
La mueblería ubicada en la ciudad de Tuluá actualmente cuenta con 32 trabajadores; 28 son mano de obra directa y 5 administrativos, esta nació de una oportunidad de negocio vista por el propietario. Durante los años 2014 y 2019 el propietario se dedicaba exclusivamente a la labor de camionero, en medio de sus visitas a Medellín conoció fabricantes de colchones, a los cuales, comercializada sus productos por redes sociales, luego sus clientes empezaron a consultarle por las bases camas para los colchones, y él decidió comenzar a fabricarlas, con el tiempo su portafolio de clientes fue ampliándose y a su vez los productos que él fabricaba. Es de resaltar que, la empresa se ha caracterizado por su gran estética y calidad, lo que le ha permitido ganar reputación gracias a la gran variedad de productos en su portafolio, que incluyen muebles, alcobas, salas, comedores, sofás y accesorios para el hogar.

La fábrica ha experimentado retrasos en la entrega de sus pedidos, especialmente en temporadas de alta demanda. Como sucedió en la segunda semana de diciembre, donde de 70 pedidos que debían ser entregados solo se hicieron efectivos 41, lo que corresponde a un 41,4% de incumplimiento, así mismo en la última semana del mes de enero, de un total de 65 pedidos solo fueron entregados 45, lo cual representa un 31 % de incumplimiento en la entrega de estos. La situación más reciente registrada sucedió en el periodo comprendido entre el 8 y 12 de abril donde se debían despachar 60 pedidos de los cuales solo se despacharon 36 dejando en evidencia un incumplimiento del 40% del total de pedidos. La recurrencia de dichos eventos deja en evidencia una problemática estructural, ya que según observaciones en el interior de la fábrica está relacionada directamente con la ineficiencia de la distribución de las áreas productivas, donde los materiales deben recorrer largas distancias

hasta los puntos de despacho, generando tiempos muertos, cuellos de botella y demoras que afectan al cumplimiento de las entregas.

Además, se evidencia los datos correspondientes al mes de febrero y sus semanas productivas

Gráfica 1 *Tendencia incumplimiento en despachos*



Uno de los problemas de la mueblería es la acumulación de materiales en las áreas de trabajo y máquinas, pues del área total de la planta, el 34,98 % corresponde a áreas de almacenamiento ya sea de producto terminado o en proceso, donde se almacena la madera el área es de 87,52 metros cuadrados lo que equivale al 14,4 % del área total, así mismo el almacenamiento de insumos corresponde al 20,62% del total y por último el almacenamiento de esqueletos es de un 4,88%. Por otra parte, los puntos de trabajo se tornan estrechos, esto implica una disminución en el ritmo de trabajo por estrés que genera trabajar en espacios ajustados, además de aumentar riesgos para el personal. A su vez la empresa tiene una mala disposición de sus materias primas, lo que resulta en un flujo de trabajo ineficiente, por otro lado, existen áreas de trabajo que no se encuentran demarcadas.

Uno de los efectos presentados es la devolución de productos terminados, según el propietario, 2 de cada 7 veces se realizan despachos con piezas faltantes, esto debido que a la hora del despacho por la acumulación de producto terminado como se observa en la figura 1, resulta complejo encontrar los artículos necesarios.

Figura 1. *Acumulación de producto terminado.*



Es de notar, que el espacio disponible no se utiliza adecuadamente pues el pasillo por donde ingresa la materia prima al segundo piso es de 1,15 mts de ancho y las escaleras de 1,10 mts de ancho x 4,23 mts de alto, las distancias recorridas por los materiales en ocasiones resultan innecesarias, en el caso de los cabeceros de cama 1,4 ancho x 1 largo mts que llevan espejos, son ensamblados en el segundo piso, transportados al primero a tapizarse, de vuelta al segundo piso para ponérsele los espejos, y luego a su almacenamiento, esta recorrido es de 80,4 metros, esta distancia corresponde a lo que tiene que recorrer el material hasta que es transformado completamente, solo para una unidad. También en el proceso del corte de la tela y sus costuras, se presentan errores en las medidas, esto se debe a la acumulación de materiales en espera para dicho proceso, en promedio un metro de tela está en 45.000 COP, estos errores suceden aproximadamente 2 veces a la semana, lo que equivale a 360.000 COP mensuales, según el gerente y propietario, estos costos los asume directamente él, ya que comenta que no cobra estos errores a sus empleados. Los problemas antes mencionados como los retrasos en los pedidos, una mala utilización del espacio, tiempos de producción largos y distancias extensas hacen que el ritmo de trabajo no sea el ideal y por ende toda su productividad se ve afectada en gran medida.

Por otra parte, la reordenación de una distribución ya existente presenta un desafío para conseguir que esta sea un conjunto integrado, donde existen limitaciones como las dimensiones del área de trabajo, la disposición de las instalaciones de servicios, y en el que el problema se establece en usar los elementos existentes y donde estos sean consistentes con los nuevos planos.

De esta manera, el interés de búsqueda de una solución radica en que una buena distribución de planta se traduce en una reducción de costos de fabricación, donde esta es ampliamente reconocida por tener un gran impacto en los costos globales, la eficiencia y el funcionamiento de una instalación. Se dice que el 50% de los gastos totales de funcionamiento puede reducirse si se ha diseñado el Layout de la instalación adecuadamente según (Orozco & Cervera, 2013), lo que deriva en un costo menor o igual, la reducción de horas de maquinaria y de hombre. Asimismo, como admitir el incremento de mano de obra y maquinaria para satisfacer la creciente demanda.

El montaje de una planta de producción considera distintos factores que le permitirán obtener un alto desempeño como lo es una adecuada distribución de sus instalaciones, es decir, la correcta disposición de las áreas de trabajo y maquinaria, pues de esta depende su productividad y eficiencia, ya que, los materiales presentan un flujo orientado, de lo contrario se presentan problemas como distancias excesivas, acumulación de material en los procesos, contraflujos y uso ineficiente del espacio.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué alternativa de distribución de instalaciones permite que la mueblería incremente la productividad en sus procesos internos?

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una alternativa de redistribución de instalaciones la cual permita un incremento de la productividad de una empresa fabricante de muebles.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el sistema productivo de la mueblería y su relación con la distribución en planta actual.
2. Definir alternativas de distribución en planta acorde al área disponible y las relaciones entre las distintas etapas del proceso.
3. Evaluar la productividad de las alternativas de distribución propuestas en relación con la actual.

3. MARCO REFERENCIAL

Dentro de las revisiones bibliográficas correspondientes a la correcta distribución de las instalaciones aparecen términos que son claves para entender el contexto de este tema tan amplio. A continuación, se evidencian los términos más relevantes para una mayor comprensión.

En la década de los años 80 fue realizado el siguiente libro por Richard Muther llamado distribución en planta el cual trata de la ordenación racional de los elementos de producción industrial con el fin de brindar los conocimientos fundamentales para quienes les sea asignada esta tarea específica, para conseguir un flujo orientado de los materiales, que el material recorra las mínimas distancias posibles y los trabajadores realicen mínimos movimientos. En sí este aporte literario Muther (1981) brinda la definición más importante para esta investigación este dice lo siguiente: “La distribución en planta implica la ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de taller”.

Otra definición importante para esta investigación es la de optimización de la distribución, pues para definir una, no basta con información cualitativa, sino más bien la integración de gran cantidad de datos filtrados que proporcionen una mirada más amplia y precisa de las instalaciones y las relaciones entre ellas, Lin & Yingjie (2019) realizaron un artículo de conferencia en este se aborda cómo optimizar la ubicación de las instalaciones en una planta de manufactura, se aplica un algoritmo que minimice los costos totales de transporte de materiales entre las instalaciones, es de notar como genera mejores resultados al combinar el SLP con dicho algoritmo se logra que la planificación del diseño de la fábrica sea más científico y razonable.

Por otra parte, se tiene el flujo de materiales visto desde la perspectiva del lean manufacturing, este sistema integrado de mejora de procesos nace en Japón en el año 1937, el cual cuenta con 5 principios que orientan a la mejora de los procesos productivos de una empresa, estos son definir el valor del producto, identificar el flujo del valor, hacer que el valor fluya sin interrupciones, dejar que sea el cliente quien hale el producto, y perseguir la perfección (Womack, 2003, citado de Tejeda, 2011). Para la investigación, el enfoque del flujo de materiales se identifica en el segundo principio, el cual, según Tejeda (2011) consiste en estudiar las operaciones relacionadas a la producción en tres niveles, el primero desde la ingeniería del producto hasta su lanzamiento, el segundo desde el recibimiento de la orden hasta su despacho, y, por último, desde tanto el flujo físico de la materia prima como del producto terminado en poder del cliente. Asimismo, Ohno (1988), determina que uno de los desperdicios existentes en un proceso puede ser la manipulación o el transporte excesivo de

material tanto en proceso como terminado, el cual no agrega valor al producto (como se citó en Tejeda, 2011).

Así mismo existen diferentes criterios a la hora de elegir la mejor alternativa entre las posibles distribuciones en planta, estos criterios dependen de los requerimientos de las partes interesadas, Nantes (2019) lleva a cabo una investigación en la cual define AHP como un método que prioriza criterios múltiples basándose en comparaciones pareadas hechas por expertos utilizando una escala de preferencia, además comparten sus fortalezas y debilidades, la gran cantidad de casos aplicados que respaldan su veracidad, y por último se destaca que el AHP es una herramienta valiosa a la hora de tomar decisiones complejas, ya que permite estructurar el problema, ponderar los criterios y sintetizar en un resultado único.

Para irse adentrando en el contexto de los problemas de distribución en planta también es necesario tener una noción clara de Systematic Layout Planning (SLP) o lo que traduce al español como la planificación sistemática del diseño, un estudio realizado por Álvarez Arias et al. (2022) realiza una propuesta de redistribución de instalaciones a una empresa que está presentando problemas con la utilización eficiente de los espacios, reducción de la productividad, retrasos en sus operaciones, entre otros. Esta empresa desea redistribuir su planta con el fin de incrementar su capacidad, minimizar los recorridos, optimizando el flujo de los materiales y reduciendo la congestión del flujo interno; pues es de saber que una correcta distribución impacta de manera positiva en la reducción de tiempos de producción.

Por tanto se evidencia que existen técnicas que contribuyen a una buena distribución de instalaciones, como lo son: Mapeo de espacio de trabajo WCW (Heragu, 2008), Layout basado en células de manufactura (Wemmerlov y Hyer, 1989, como se citó de Heragu & Chen, 1998), sin embargo, la técnica más empleada es Systematic Layout Planning SLP (Muther, 1981) para aplicarla es necesario una noción detallada del proceso productivo, el flujo de los materiales, la ubicación de las máquinas, el área disponible entre otros factores, todo esto con el fin de “reducir costos en distintas áreas del proceso como puede ser el mantenimiento de este por lo que hay que ver que esta técnica no solo se enfoca a dar soluciones generales del diseño de planta sino también a los procesos llevados alrededor de esta”, como lo menciona Álvarez Arias et al (2022).

Cuando se habla de distribución en planta un aspecto fundamental a considerar es la productividad, pues esta, aunque tiene un concepto muy amplio el cual, en el contexto estudiado hace referencia a realizar más con menos, es decir utilizar menos recursos, ya sea reducción de tiempos, distancias, riesgos, entre otros. Como menciona Meyers & Stephens (2006), “El diseño de las instalaciones de manufactura y manejo de materiales afecta casi siempre a la productividad y a la rentabilidad de una compañía, más que cualquiera otra decisión corporativa importante.” Pues de una correcta distribución depende que su productividad incremente, dado que se busca la orientación del flujo de los materiales, reduciendo distancias y generando un ambiente más seguro y cómodo para los trabajadores. Conforme a lo anterior, y según Escalante y González (2016) algunos factores que afectan la

productividad se encuentran la mala disposición de las instalaciones, que se traduce en interrupciones en el proceso de producción, condiciones inseguras y el poco aprovechamiento de estas.

Tanto el enfoque de Muther (1981) como el enfoque Lean Manufacturing y recientes estudios como el de Álvarez Arias et al. (2022) destacan que una adecuada distribución en planta busca minimizar el recorrido de los materiales, los movimientos innecesarios y evitar los desperdicios. Este último, también es relacionado con lo planteado por Ohno (1988) al identificar que el transporte en exceso es una fuente de desperdicio.

Asimismo, diversas fuentes coinciden en que una distribución ineficiente impacta negativamente en la producción generando obstáculos, atascos y tiempos muertos (Meyers y Stephens, 2006; Escalante y González, 2016; Álvarez Arias, 2022). Además, como lo menciona Meyers y Stephens, el diseño de esta distribución influye en la rentabilidad tanto como otras decisiones estratégicas (2006).

Finalmente, la metodología SLP se confirma como una metodología ampliamente aplicada para la redistribución en planta, tanto en Muther como en estudios recientes tales como (Álvarez Arias et al., 2022; Lin & Yingjie, 2019) los cuales reconocen su utilidad al proporcionar un marco sistemático y visual para la planificación de layouts.

4. SISTEMA PRODUCTIVO Y ESTADO ACTUAL DE LA FÁBRICA.

Para el desarrollo de la actividad económica característica de la empresa se realizó una recopilación de información del dueño de la empresa y los jefes de cada área, acerca de los materiales empleados, problemas percibidos, cantidad de trabajadores, descripción del proceso, entradas y salidas, y si las distancias que se desplazan con los materiales son excesivas.

La empresa, en su actividad comercial dedicada a la fabricación de muebles de madera, cuenta con diversos procesos que se distinguen por sus operaciones, pero que mantienen un flujo continuo. Es así como, se encuentra dividida en departamentos de acuerdo con la función que cumplen en el proceso productivo y los cuales son los siguientes:

- Almacenamiento de producto terminado.
- Almacenamiento de materia prima.
- Almacenamiento de producto en proceso (cabeceros y base camas).
- Almacenamiento de insumos.
- Almacenamiento de estibas.
- Almacenamiento de colchones.
- Corte y ensamble 1 y 2.
- Corte y costura.
- Corte y ensamble de espejos.
- Oficinas (venta y gerencia).
- RH.
- Tapizado.
- Zona de secado.

La empresa se distingue por la producción de tres tipos de productos propios y la comercialización de otros. Entre los productos propios se encuentran los cabeceros, bases de cama, sofás cama y salas, mientras que entre los productos comercializados se incluyen muebles en RH, comedores, alfombras y espejos.

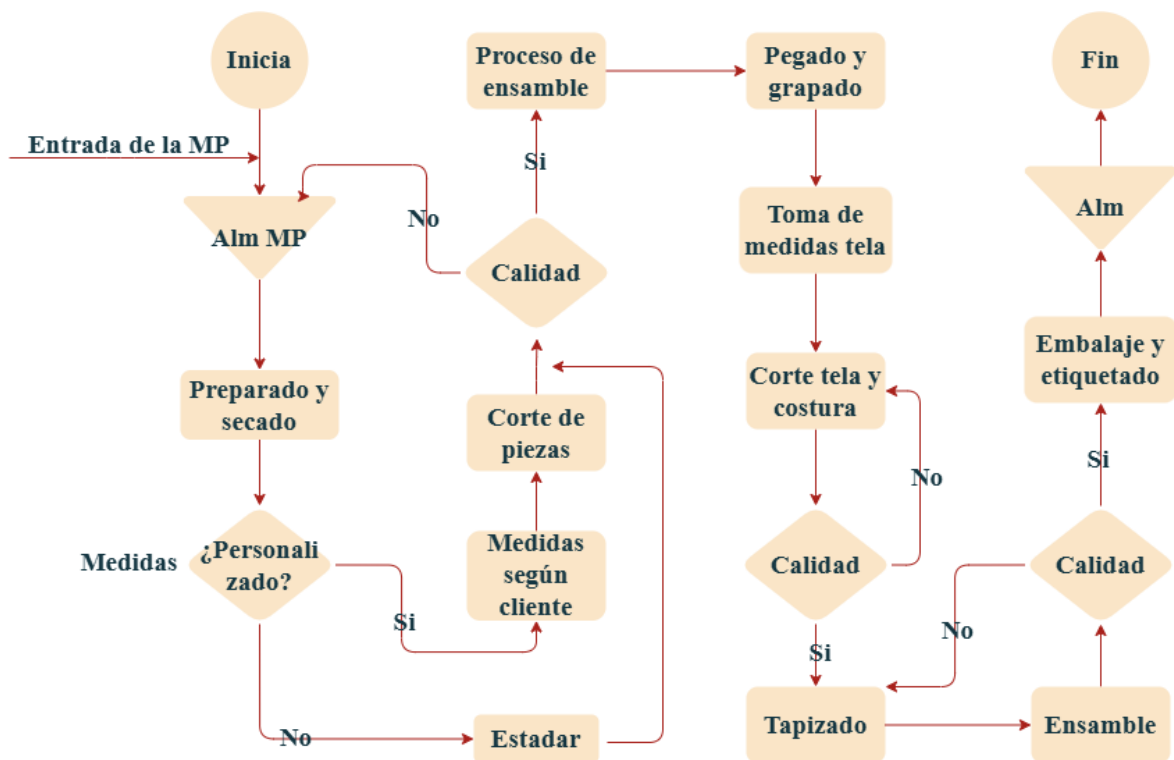
Cabe resaltar que cada una de estas categorías de productos cuenta con diversas referencias. En el caso de los cabeceros, se destacan los siguientes modelos: cabecero Joba de 1.40 metros, cabecero liso de 1.40 metros y cabecero capitoneado de 1.40 metros, cada uno de estos tiene un largo de 1.50 metros. Las bases de cama están disponibles en versiones divididas de 1.40 y 1.60 metros por 1.90 metros, así como en versiones completas de 1.0, 1.20 y 1.40 metros por 1.90 metros. Los sofás cama, por su parte, se ofrecen en tamaños de 1.0 y 1.20 metros. Finalmente, las salas en L se presentan en tres modelos: con baúl, sin baúl y en el modelo alemán.

Dentro de la empresa se llevan a cabo procesos similares para la fabricación de cada producto como el secado de la materia prima. No obstante, cada uno de estos procesos está sujeto a

modificaciones y adaptaciones específicas según los requisitos del cliente o las particularidades de cada producto.

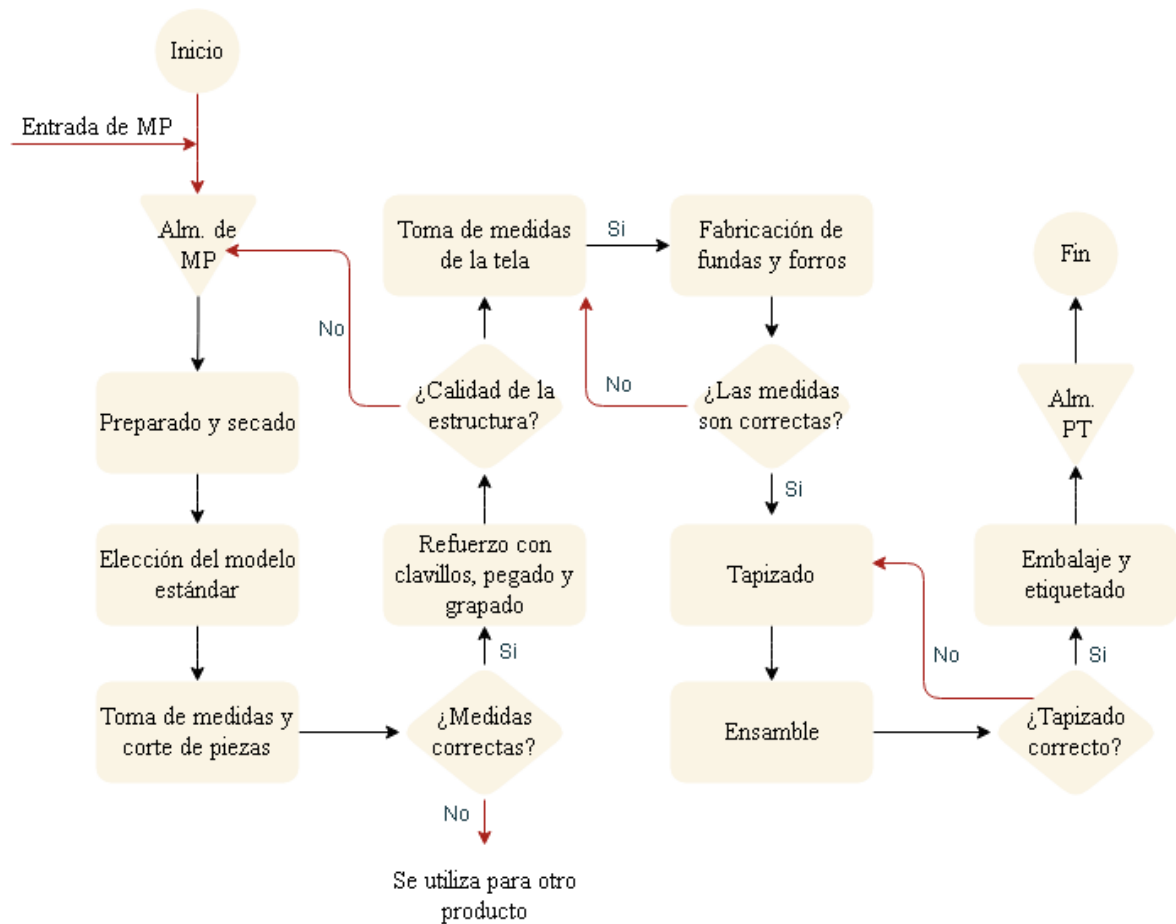
En lo que respecta a la fabricación tanto de bases de cama como de sofás cama, el proceso comienza con la programación de los pedidos, seguido de la revisión del tipo de base de cama solicitada. Posteriormente, se procede al corte y ensamble de las piezas, mientras que, de manera simultánea, se preparan las piezas de tela para el tapizado. Continuamente, se lleva a cabo el proceso de tapizado y, finalmente, el producto terminado se almacena en el área designada. Cabe resaltar que en cada etapa del proceso se realiza una inspección de calidad con el propósito de garantizar que el producto cumpla con los requisitos establecidos como se evidencia en la figura 2 y figura 3, respectivamente.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de bases de cama



Fuente: Elaboración propia

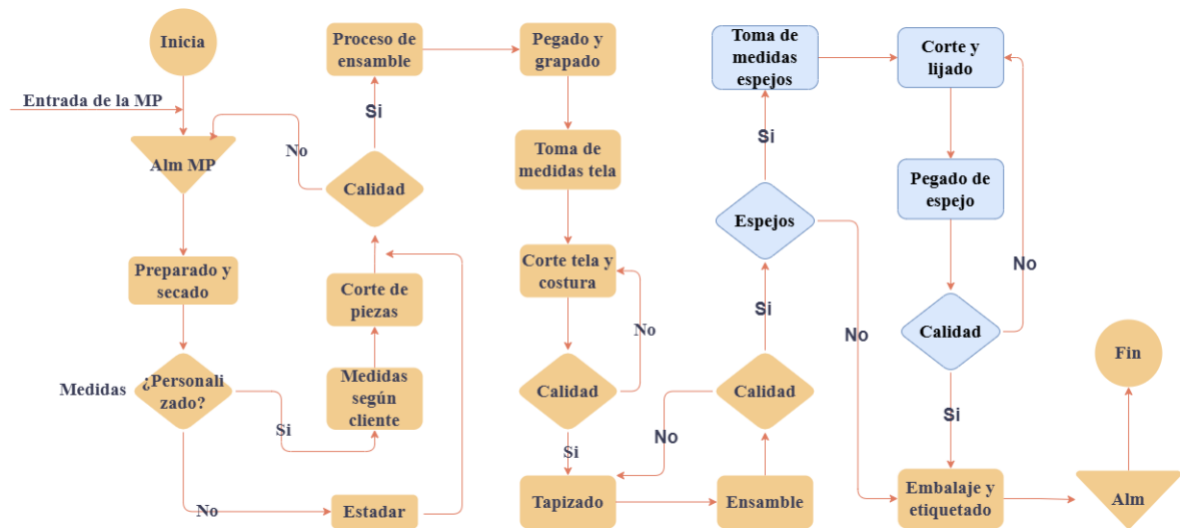
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de sofás cama.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el proceso de fabricación de los cabeceros comienza con la recepción del pedido, incluyendo las especificaciones y la referencia correspondiente. En la fase inicial de su fabricación, el proceso sigue una secuencia similar al de las bases de cama, hasta llegar al tapizado. En esta etapa, se verifica el tipo de cabecero, así como la incorporación de elementos adicionales, como espejos, si es necesario, o cualquier otra modificación solicitada. Finalmente, el producto terminado es almacenado en el área correspondiente como se evidencia en la figura 4.

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de cabeceros.



Fuente: Elaboración propia

Estudio de factores productivos.

Para comprender mejor el funcionamiento de la fábrica es necesario realizar una caracterización por factores, es decir una descripción detallada con datos precisos que permita conocer como es el comportamiento de cada uno de los factores que intervienen en la producción de estos elementos que se realizan en su mayor parte de madera. Para esto fue necesario hacer entrevistas con el propietario y los operarios encargados de cada área, además de visitas, mediciones en las áreas productivas de la empresa, para posterior a ello describir estos factores en forma de matrices con la información más relevante y detallada de cada uno de estos.

Factor material: la empresa se dedica especialmente a la fabricación de muebles, los cuales son: sofás, cabeceros y bases de cama; la materia prima fundamental es la madera de pino, esta llega en tablones de diferentes dimensiones (0.1 x 3 m, 0.05 x 3 m y 0.06 x 4 m, todos cuentan con una profundidad de 5-10 cm) y constituye más de un 70% del peso y volumen del producto final. Se adquieren aproximadamente 288 largueros al día. El segundo material principal es la tela, esta llega a la fábrica en metros según la necesidad de la producción diaria, la cual tiene un promedio de 150,4 metros cuadrados lo que equivale a 3,42 rollos al día y se utiliza en el proceso del tapizado de los productos.

Por otra parte, los insumos necesarios incluyen grapas, clavos, clavillos, guata, Yumbolon, cambrela, espuma y pegamento especial para la unión de las estructuras en madera, cada paquete se compone de 12 cajas con 100 unidades cada una dependiendo de la referencia y el producto. Además, se utiliza espuma en la parte interna del producto para la estética y el confort (aproximadamente 45 láminas para la producción) esta cantidad también varía dependiendo de la referencia y el tipo de producto. El yumbolon se utiliza entre la madera y la espuma con el fin de evitar que las astillas de la madera generen daños futuros, los dos

tipos de pegamento empleados son: de uso específico para la madera y tipo bóxer para la adhesión de la espuma.

La mayoría de los materiales e insumos requieren de un cuidado especial de almacenamiento libre de humedad, además los pegamentos deben estar en un lugar ventilado y lejos de la luz del sol, pues podrían verse afectadas sus propiedades físicas y químicas. Mientras que, la madera pasa por un proceso de secado al sol.

Factor movimiento: la empresa realiza el movimiento de sus materias primas como la madera y la tela desde el proveedor hacia la fábrica por medio de camiones o camionetas, en las áreas de almacenamiento de insumos y secado, estas presentan una frecuencia de 288 unidades de tablones y 3,42 rollos de tela diarios, lo que se traduce en 22 viajes del área de materia prima a secado y 5 viajes por día respectivamente. Los productos en proceso como la madera secada y ensamblada y fundas se transportan de manera manual hacia las áreas de corte – ensamble y de tapizado respectivamente.

Por otro lado, cuando el proceso de tapizado concluye, se obtienen los productos terminados (sofás cama, bases y cabeceros) estos son transportados y almacenados manualmente de acuerdo con su prioridad de entrega. Además, los materiales indirectos como grapas, clavos y pegantes se transportan desde el almacén de insumos a cada área de producción. Por último, los desechos como aserrín y retazos de tela se gestión manualmente por un operario asignado al área de desecho.

Factor máquina: para el área de corte - ensamble la maquinaria que hace parte del proceso comprende de dos compresores Omega, 1 sinfín Golden jet series, 2 sierras radial Dewalt DW725, 4 acolilladoras Dewalt DW714-B3 y 7 clavadoras neumáticas Meite N851F, para el área de tapizado de 5 grapadoras neumáticas Truper, para el área de ensamble de espejos cuenta con una polichadora Makita GV5010 y un corta vidrio Ubermann, para el área de corte y costura con 3 máquinas de coser Singer MX60 y para las áreas de gerencia y ventas 5 computadores HP 22-DG0010LA 21.5.

Factor infraestructura: este abarca elementos necesarios para la operación eficiente de la planta. La energía eléctrica llega a través de un transformador, la distribución de la red eléctrica mediante enchufes y extensiones, mientras que la red de aire se compone de un compresor industrial para las herramientas neumáticas. El abastecimiento de agua para el servicio sanitario (baño) proviene del acueducto y alcantarillado municipal. La empresa cuenta con un extintor como protección contra incendios y un sistema de ventilación natural e iluminación tanto natural como artificial en las distintas áreas de producción y gerencia, esta última cuenta con un sistema de 5 ordenadores para mantener la comunicación con los clientes, proveedores y demás áreas. La infraestructura del lugar actual presenta facilidades en la reorganización de sus áreas, ya que no tiene paredes en su interior, lo que facilita el movimiento de las máquinas y puestos de trabajo, además de permitir reorganizar un área determinada en cualquier otra ubicación de la planta.

Factor humano: se describen factores relacionados con el personal, tales como tipo, función, cantidad, horarios y condiciones de trabajo. Esta es de carácter mixta tanto en el área administrativa como de producción. El personal administrativo y de ventas labora de lunes a

viernes de 8:00 a 12:30 y de 2:00 a 6:00, y los sábados de 8:00 a 12:30, el cual desempeña sus funciones en ambientes de oficina, con requisitos ergonómicos básicos y espacios de trabajo asignados.

El personal de producción trabaja de lunes a sábado de 7:00 a 12:30 y de 2:00 a 6:00. Las condiciones ergonómicas en esta área son deficientes, ya que el personal permanece de pie por largos periodos, lo cual genera tensión en la espalda, los hombros y las piernas debido a las posturas y a los movimientos repetitivos. Se emplean elementos de protección, como guantes para evitar cortes y a excepción del área de corte y costura, zapatos de platina para evitar contusiones, debido a la caída de objetos.

El trabajo se realiza únicamente durante la jornada establecida, y el personal cuenta con facilidades de comunicación, alimentación y aseo en sus áreas de trabajo. Además, el ambiente laboral es favorable a pesar de no contar con servicios de recreación, y se ofrecen capacitaciones frecuentes de acuerdo con el área de desempeño.

La empresa cuenta con 6 clientes en la Tebaida, Caicedonia, Trujillo, Roldanillo, Zarzal y Tuluá.

Factor espera: Este factor se enfoca en la gestión de materiales en espera, indicando dónde y cuánto tiempo permanecen ciertos materiales, como materias primas, productos en proceso y productos terminados, antes de su uso o distribución. Las materias primas, como la madera y la tela, se almacenan en el área de secado y de estibas, y en la zona de corte y costura, respectivamente. En cuanto al producto en proceso, la madera secada y despiezada se guarda en las áreas de corte – ensamble 1-2 y tapizado, mientras que los forros se ubican en el área de corte – costura. El producto terminado se almacena en el área de ventas y en el espacio designado para los cabeceros y bases de cama. Finalmente, los desechos se trasladan al área destinada a su disposición.

El tiempo de espera varía según el producto, para las bases camas, se fabrican 23 al día y se tapizan 10, y la razón de esta espera podría mejorarse con una nueva distribución o depende de factores externos. No obstante, se podría mejorar el almacenamiento para optimizar el flujo de trabajo.

Factor edificio: En este factor se incluyen las cimentaciones, pisos, muros y techos de las diferentes áreas. Los cimientos de la empresa, a excepción de área de almacenamiento de estibas, se componen de cemento y cemento pulido en mayor proporción, las áreas se encuentran delimitadas por columnas, sin divisiones internas. Las puertas y ventanas son mínimas en las áreas. En el primer piso el techo es de concreto exceptuando el área de corte – ensamble 2, mientras que en el segundo piso este es de teja. No existen montajes especiales, y las modificaciones dependen de la nueva distribución de los espacios. Las restricciones que se presentan son la movilidad del baño, pues presenta limitaciones en la red de agua, las escaleras y área administrativa.

Factor ambiental: Se evaluaron los factores ambientales en los espacios de la empresa, divididos en ambiente interno y externo. En el ambiente interno, se consideran elementos como iluminación, ventilación, acústica, condiciones de seguridad y estética. Las áreas administrativas disponen de luz y ventilación, tanto natural como artificial; sin embargo, la

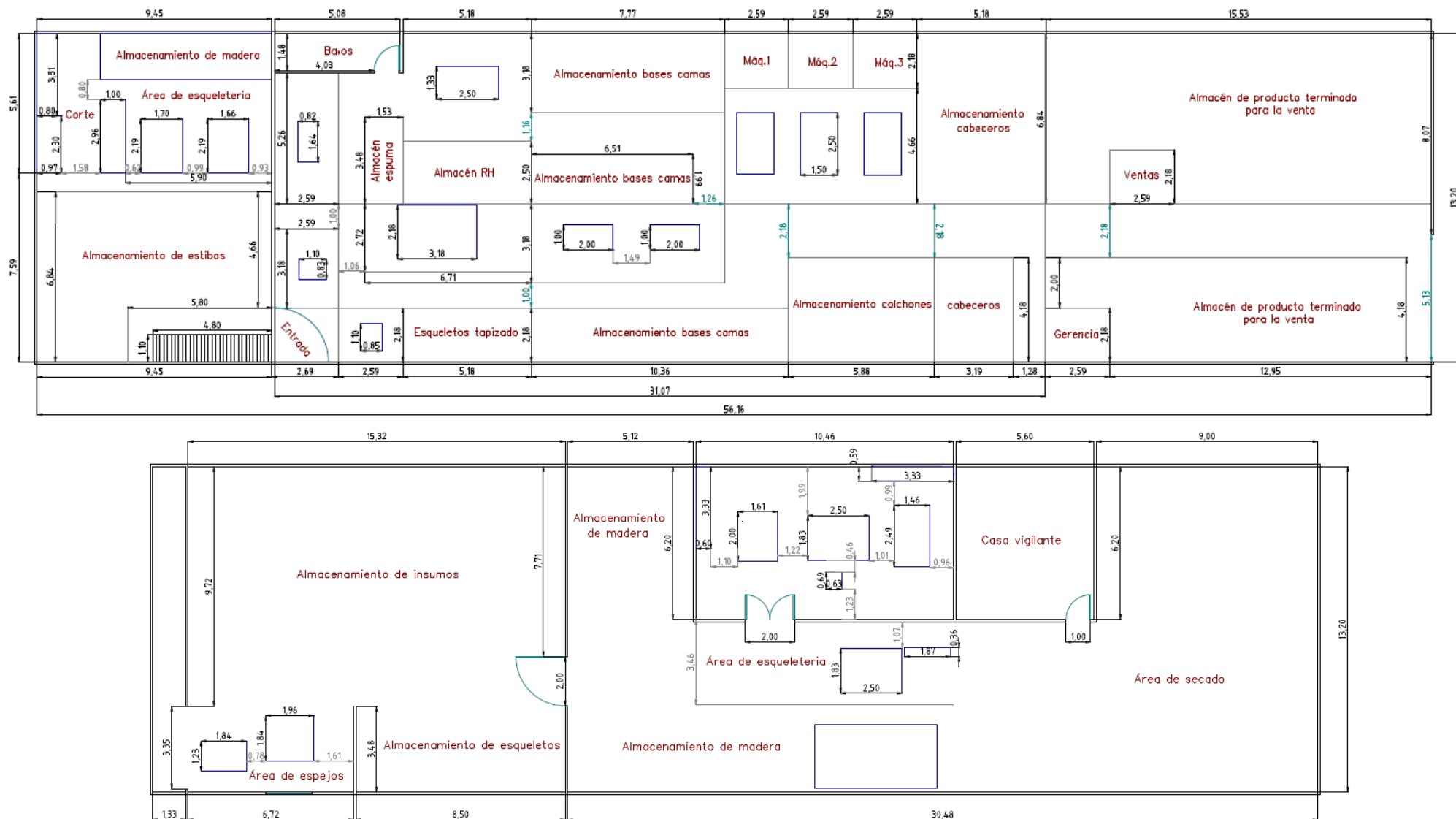
organización y limpieza no son las mejores. En las áreas de producción, solo el área de corte - ensamblaje de espejos cuenta con ambas modalidades de ventilación e iluminación, mientras que las demás áreas tienen ventilación natural y pueden tener iluminación natural o artificial. En cuanto a la acústica, solo las áreas de corte, costura y ensamblaje presentan niveles de ruido interno.

En el ambiente externo, cada área cuenta con un sistema de disposición de desechos y no se detectan emanaciones al aire. A excepción del baño, no se requiere evacuación de líquidos. Sin embargo, se perciben ruidos y vibraciones provenientes de la maquinaria, de áreas cercanas, y en las áreas cercanas a la calle se detectan ruidos externos. Por último, algunas zonas no están claramente delimitadas y podrían beneficiarse de la nueva propuesta de distribución, la cual mejoraría las condiciones actuales y permitiría una mayor organización del espacio.

Distribución actual

Así mismo, durante el proceso de análisis se identificó que la empresa tiene enfoque en una producción por producto. La empresa dispone actualmente de dos plantas, la primera de 741.312 m² la cual comprende seis áreas, siendo estas tapizado, corte – ensamble 2, corte – costura, administrativa, producto terminado, producto en proceso y la segunda de 603,24 m² la cual cuenta las áreas de corte – ensamble de espejo, corte – ensamble 1, almacenamiento de insumos y esqueletos y secado como se muestra en la figura 5. Es de resaltar que, se lleva a cabo la identificación del espacio ocupado por las áreas con base a la disposición actual de los equipos, elementos y operarios.

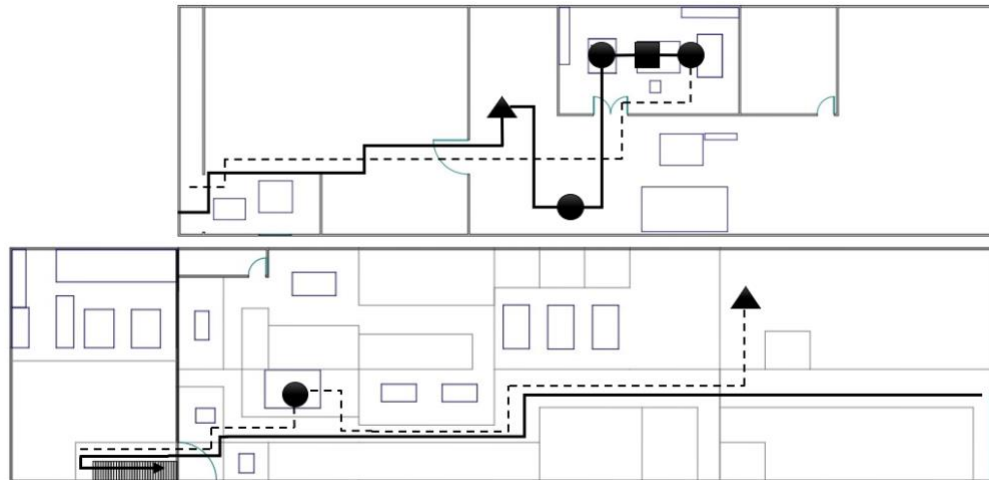
Figura 5. Distribución actual de la empresa.



Fuente: Elaboración propia

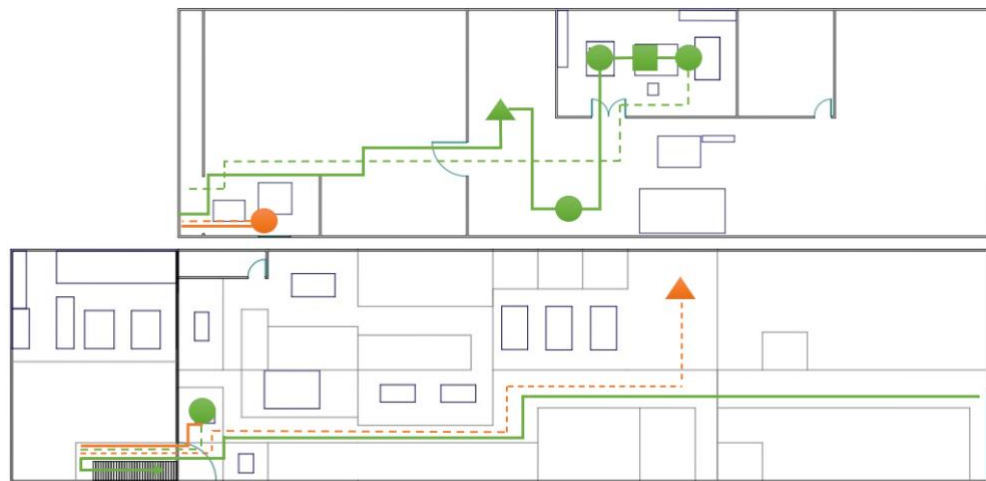
El flujo relaciona la secuencia de la producción, este no solo comprende los desplazamientos que realiza el producto y operario dentro de la empresa, sino también, las unidades de carga de cada uno de los materiales utilizados en la fabricación. Las líneas punteadas indican el cambio de flujo en las tanto en las figuras 6 y 8 como en la figura 7, en la cual, el paso de color verde a naranja muestra el cambio de recorrido de tapizado de cabeceros al ensamble de espejos y posteriormente, al almacenamiento. El bloque superior de las figuras corresponde a la segunda planta, mientras que el bloque inferior representa la primera planta.

Figura 6. *Flujo del proceso de los sofás.*



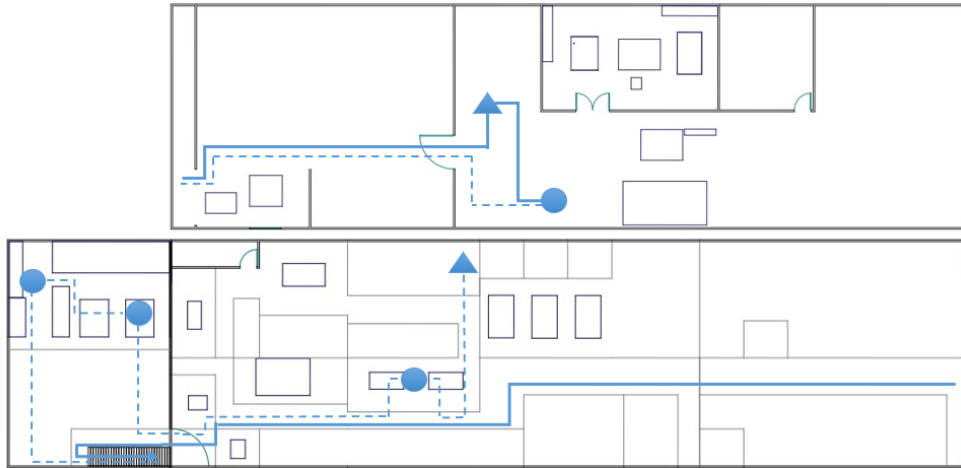
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. *Flujo del proceso de los cabeceros*



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Flujo del proceso de las bases de cama.



Fuente: Elaboración propia

Una particularidad que presentan los flujos de cada proceso es el inicio del recorrido con el traslado de la materia prima al área de secado, el cual tiene que atravesar la totalidad la planta baja de la fábrica teniendo en cuenta que existen grandes distancias de recorrido, esto se debe principalmente al gran tamaño de las instalaciones de la fábrica.

Por medio de visitas y toma de datos en tiempo real se pudo contar las veces que se movía material entre áreas en un día, as unidades de carga que se transportan en cada área son las siguientes:

Tabla 1. Unidades de carga

MATERIAL QUE SE MUEVE	DESDE	HACIA	UNIDAD DE MANEJO	CANTIDAD Y FRECUENCIA
Madera para sofás y cabeceros	Secado	Corte y ensamble 1	Quince unidades	9 viajes por día
Madera para bases camas	Estibas	Corte y ensamble 2	Quince unidades	13 viajes por día
Madera cortada y ensamblada sofás y cabeceros	Corte y ensamble 1	Tapizado	Unidad (esqueleto)	15 viajes por día
Madera cortada y ensamblada	Corte y ensamble 2	Tapizado	Unidad (esqueleto)	23 viajes al día
Sofás terminados	Tapizado	Almacén de Sofás	Unidad (sofá)	7 viajes al día
Cabeceros terminados	Tapizado	Almacén de Cabeceros de Cama	Unidad (cabecero)	8 viajes al día

Bases camas terminados	Tapizado	Almacén de Bases de Camas	Unidad (base cama)	10 viajes al día
Forros y tela con costuras	Corte y costura	Tapizado	Rollos (1 rollo)	5 viajes al día

Fuente: Elaboración propia

Dado que la empresa objeto de estudio presenta una gestión de carácter empírico, actualmente no cuenta con un modelo estructurado de indicadores de productividad que permita medir de manera objetiva el rendimiento de sus procesos. Sin embargo, establecen como indicador el tiempo y cumplimiento de los despachos con relación a los pedidos realizados, no obstante, este no mide directamente la productividad, de la cual es objeto de estudio. En consecuencia, durante el proceso de caracterización se consideró necesario establecer un indicador que reflejara la relación entre la producción y uno de los costos operativos más representativos: el transporte.

Por ende, se propuso el siguiente indicador: Producción total sobre el costo de transporte dividido por \$1000. Para comprender de manera más precisa este indicador, producción total hace referencia al total de unidades de todos los productos fabricados en el mes y el costo de transporte representa la cantidad total de metros que recorren los trabajadores con los materiales en el mes, multiplicado por el costo de transportar el material un metro; y por mil, para saber cuántas unidades se producen por cada mil pesos invertidos. Este indicador se estableció tanto para la caracterización como para la evaluación de la situación actual con respecto a las propuestas que se establecerán.

Método Guerchet

Para realizar una comparación entre la superficie total requerida y la superficie actual ([tabla 3](#)), se utilizó para la primera el cálculo de las dimensiones de cada área con base al método Guerchet, el cual permite determinar las áreas necesarias para un puesto de trabajo utilizando tres superficies (Cuatrecasas, 2012):

- Estática (Ss): resultado de multiplicar el largo por ancho del equipo.

$$Ss = L * A$$

- Gravitacional (Sg): resultado de multiplicar la superficie estática por el número de lados utilizados para el desarrollo de la operación.

$$Sg = Ss * N$$

- De evolución (Se): es la superficie necesaria para la movilización de los operarios y el mantenimiento.

$$Se = K * (Ss + Sg)$$

Donde K, es un coeficiente, que consiste en la relación entre la sumatoria de la altura del equipo y la sumatoria de trabajador y representa la actividad económica.

$$K = \frac{h \text{ Elementos móviles}}{h \text{ Elementos estáticos}}$$

Se aplicó el método de Guerchet en los distintos departamentos como se evidencia en los [anexos 1 a 14](#) referentes al “Método de Guerchet”, es de resaltar que, para los departamentos de baño, escaleras, compresores y casa de vigilante, no se aplicó el método, puesto que los primeros tres son restricciones y el último resulta favorable su ubicación en la segunda planta.

En la tabla 2, se puede evidenciar la aplicación del método para obtener la necesidad de área real de cada departamento con base a los elementos móviles y estáticos, así mismo como las máquinas utilizadas y demás elementos presentes en cada departamento:

Aplicación del método Guerchet

Tabla 2. Cálculo de la necesidad de área del departamento de corte y costura

Elemento	Número de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total (m ²)
Mesas máquinas de coser	3	0,64	0,64	0,93	6,62
Elementos estáticos	Mesas de trazado	2	3,75	7,5	38,79
	Sillas	3	0,09	0,13	0,93
	Estanterías telas	2	2,21	3,20	15,24
Elementos móviles	Operarios	5	0,5		
	Suma				
					61,58 m ²

Cálculo coeficiente K

h EM	1,65
h EF	1,14
K	0,72

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, los elementos considerados fueron las mesas de coser, de trazado, las sillas y los operarios de ese departamento, en la altura de las mesas de coser fueron consideradas las medidas adicionales de las propias máquinas. Así mismo se realizaron los cálculos de necesidad de área para los demás departamentos de producción solo que excluyendo a las áreas de baño, compresores y casa de vigilante, ya que estas continuarían siendo de las mismas dimensiones sin importar la redistribución que se proponga como se evidencia en la tabla 3. Dada la naturaleza de este método se puede saber la necesidad realmente adecuada sin exceder espacio ni proporcionar uno muy ajustado teniendo en cuenta los pasillos y demás espacios por donde se movilizan los materiales y los mismos operarios.

A través del desarrollo del método hubo necesidad de realizar un ajuste a este para los casos donde el área que se obtenía era muy grande, dado a que algunos elementos requerían de 3 o 4 lados, sin embargo, se tomó en consideración el espacio destinado para la movilización del trabajador. En los departamentos de almacenamiento de producto en proceso o terminado como cabeceros y bases de cama se optó por acceder a la altura, es decir, un aprovechamiento volumétrico, sin necesidad de contar con áreas de pasillo anchas.

Tabla 3. Comparativo de necesidad de área obtenida mediante el método Guerchet con la disposición actual.

Cod.	Departamento	Necesidad	Actual
MP	Materia prima	136,86	86,90
SEC	Secado	80,60	158,00
EST	Estibas	53,73	51,99
INS	Insumos	180,07	147,70
CE1	Corte - ensamble 1	114,08	101,04
CE2	Corte - ensamble 2	94,05	53,01
CYC	Corte - costura	61,58	53,15
TAP	Tapizado	133,14	100,33
ENS	Ensamble espejos	28,00	23,39
RH	RH	52,97	35,43
PT	Producto terminado	109,58	173,81
BAC	Bases cama	27,65	60,25
CAB	Cabeceros	31,04	48,77
COL	Colchones	23,28	24,58
ADM	Administrativa	11,58	11,29
BÑ	Baño	7,52	7,52

ESC	Escaleras	12,64	12,64
COM	Compresores	3,38	0,56
CV	Casa vigilante	34,72	34,72
Total		1196,46	1185,08

Fuente: Elaboración propia

Centroides

Para las figuras sencillas, esos representan las coordenadas X y Y centrales de la figura, mientras que para las figuras compuestas se procede a dividir la figura en áreas más simples con centroides conocidos, dando como resultado los ejes centroidales de la figura plana por las siguientes ecuaciones:

$$X_{centroide} = \frac{A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + \dots + A_n * X_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

$$Y_{centroide} = \frac{A_1 * Y_1 + A_2 * Y_2 + \dots + A_n * Y_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Donde: A_n es el área de la figura estudiada, X_n es la abscisa del centroide de la figura simple y Y_n es la ordenada del centroide de la misma figura.

Distancia euclidiana

La distancia euclidiana al representar una línea recta entre dos puntos permite obtener una aproximación directa y simplificada del desplazamiento entre dos áreas. Es útil en etapas preliminares de redistribución y el cual se alinea con la metodología SLP, la cual propone ser progresiva comenzando con relaciones cualitativas y de espacio generales. Dado que el análisis se realiza sobre un modelo teórico de redistribución, sin un sistema fijo de pasillos establecido, el uso de la distancia rectilínea podría caer en supuestos innecesarios.

Además, permite facilitar la construcción de herramientas analíticas como las matrices de carga y distancia, al mantener un enfoque comparativo entre alternativas de distribución.

Es la distancia entre dos puntos de valor real que se calcula mediante la raíz cuadrada de la diferencia entre los puntos del mismo eje como se muestra en la siguiente ecuación:

$$d(p_1 \text{ a } p_2) = \sqrt{(X_2 - X_1) + (Y_2 - Y_1)} \quad (3)$$

5. DESARROLLO DE MÉTODOS Y PROPUESTAS DE REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Revisión en la literatura

Existen diferentes métodos y modelos heurísticos para solucionar problemas de distribución, por lo que fue necesario hacer una revisión de literatura con el fin de identificar las herramientas más utilizadas y efectivas en los contextos industriales reales y recientes. Con este propósito, se consultaron bases de datos y revistas académicas como: Google scholar, Scopus, IEEE Xplore, SciELO, VirtualPro, ScienceDirect, revistas universitarias, utilizando las siguientes ecuaciones de búsqueda: layout and productividad, SLP and distribución en planta, redistribución, productividad, distribución en planta, métodos de distribución.

Los periodos de búsqueda se filtraron entre los años 2011 y la actualidad, con el fin de observar las tendencias actuales y casos recientes de aplicación. Esta revisión de la literatura dio paso a sustentar la elección metodológica de la propuesta presente, así mismo conocer cuáles son los enfoques mayormente empleados en estudios relacionados con el rediseño de las instalaciones productivas.

Mejia et al. (2011), llevaron a cabo una investigación donde pretendían encontrar la distribución más adecuada para el área de almacenamiento, teniendo en cuenta las características de los productos que serían almacenados en dicho lugar, allí emplearon la metodología SLP (Systematic Layout Planing) y la heurística CORELAP. En este estudio se concluyó que la metodología SLP y la heurística CORELAP son apropiadas para la correcta distribución del almacén del centro de distribución, pues la aplicación del SLP permite calcular las tasas de relación entre las áreas y determinar el número de estanterías para cada subgrupo o familia de productos, con la heurística se logró asignar cada subgrupo de familias a las estanterías correspondientes obteniendo así una mejora en el flujo de estos a la zona de despachos.

También, Marañón Granados et al. (2016) proponen la implementación de la metodología SLP con el fin de encontrar la mejor disposición de las áreas de la fábrica de transformadores dependiendo de su importancia y las actividades que se realizan, teniendo como fin una propuesta de distribución que logra reducir los tiempos y las distancias recorridas por los trabajadores, además de esto se sugiere la ubicación de un área adicional de soldadura, pues con esta área adicional se reduce sustancialmente el problema presentado en dicha empresa. De igual manera, resalta la importancia del método SLP “es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución de una planta y está constituida por varias fases; que incluyen una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas en la planeación” (Marañón Granados et al., 2016).

Moreno et al. (2015) proponen un modelo matemático adaptable a empresas productivas con áreas desiguales, teniendo como objetivo la minimización de costos asociados al manejo de los materiales, para la validación de este modelo fue necesario utilizar diferentes características de problemas encontrados en la literatura. Resultando en un modelo que,

finalmente, optimiza el costo de manejo de materiales y las relaciones de cercanía para problemas pequeños.

Paredes et al. (2016) presenta una metodología de distribución de plantas con un enfoque semicontinuo considerando aspectos cualitativos y cuantitativos para la generación de alternativas de distribución basadas en técnicas cualitativas como SLP y en técnicas cuantitativas como CRAFT y QAP. El método de asignación relativa computarizada de la técnica de instalaciones (CRAFT) se introdujo en 1963 por Buffa y Vollman, como una herramienta que permite mejorar la distribución actual de las instalaciones a través de la reducción del costo de transporte. Esta considera las dimensiones del edificio y de las áreas, el flujo de material o la frecuencia de viaje entre las áreas, el costo por unidad de carga y por unidad de distancia (Paredes et al., 2016; Pinto-Wilsten & Shayan, 2007, como se citó en Ramírez Drada et al., 2019).

Mientras que el problema de asignación cuadrática (QAP) utilizado para modelar el problema de distribución en plantas de Koopmans y Beckmann, el cual busca minimizar los costos de manejo de materiales; además, permite adicionar funciones de desempeño como el costo de asignar una localidad y restricciones de capacidad (Ramírez Drada et al., 2019). El artículo concluye que, de las distintas alternativas, la segunda obtenida por medio del método CRAFT se adapta más a las necesidades de la empresa, también que esta es de fácil implementación.

Kasemset et al. (2023) publica un estudio el cual diseñar y mejorar la disposición de una fábrica de cerámica mediante el método SLP aplicado a la producción de 3 productos, después de realizar las propuestas con SLP proceden a aplicar el algoritmo CORELAP logrando mejorar de manera notable la productividad y disposición de los elementos y departamentos de la fábrica.

Guerrero Silva (2022), realiza una propuesta de distribución de planta en el área de almacenamiento de una empresa, utiliza como método de recolección de información la observación y entrevista a los encargados de realizar las actividades de transformación, posterior a ello aplica el SLP con algoritmos como CORELAP y ALDEP obteniendo diferentes propuestas de distribución adaptables a las necesidades requeridas y espacios disponibles, continuamente aplica un método multicriterio como lo es el AHP para la evaluación de las alternativas, el cual indicia que la mejor alternativa es la desarrollada a través de SLP, pues esta permite delimitar los corredores y las zonas de almacenamiento, disminuyendo así la acumulación de materiales, herramientas que eran una causa principal en la empresa y además de mejorar el desplazamiento interno de los colaboradores en los espacios donde se transforma la materia prima.

Vega Hernández (2016) lleva a cabo una investigación donde busca la distribución óptima de los equipos y áreas con el fin de utilizar eficientemente el área que posee la empresa para ampliar su planta de producción, la empresa se dedica a la fabricación y reparación de piezas metalmecánicas; en un inicio caracteriza los procesos y la empresa como tal, además de una minuciosa revisión en la bibliografía con el fin de elegir el método que mejor se adapte a las necesidades planteadas, hallando como mejor opción la aplicación de la metodología SLP, pues es la que más se adapta a su objetivo general, teniendo como resultados más relevantes

la cercanía entre áreas que comparten herramientas o equipos, además de ubicaciones estratégicas como lo fue el área de producto terminado bastante cerca de la entrada facilitando el cargue de los productos listos para el despacho.

Una investigación hecha por Paz Orozco et al. (2018) propone una distribución de instalaciones para una empresa del sector cárnico perteneciente al grupo empresarial Nutresa, con el objetivo de mejorar la efectividad en las operaciones, reduciendo los tiempos y costos de producción, aplicando la metodología de relación de actividades a la información previamente La investigación brinda resultados tales como disminución en las distancias, porcentajes de inactividad del recurso humano y las máquinas, proyectando así una reducción en el cuello de botella.

Según Sarikaya et al. (2024) en el contexto de un entorno competitivo, las empresas deben controlar los costos y eliminar las actividades que no añadan valor a los productos para lograr el éxito. En un estudio realizado por los autores se implementan las metodologías SLP y CRAFT para proponer una nueva distribución de una planta de fabricación de pastillas de freno, la cual se abordó los problemas de diseño de instalaciones, mejora del flujo de materiales y las relaciones entre departamentos.

Estudios como los de Mejía et al. (2011) y Marañón Granados et al. (2016), demuestran que el uso del método SLP permite generar propuestas de distribución y redistribución que significativamente mejoran el flujo de los materiales, reduciendo tiempos y distancias recorridas, así mismo, en ambos casos el método fue implementado con heurísticas como CORELAP para facilitar la asignación lógica de las distintas áreas.

Por otro lado, investigaciones como las de Guerrero Silva (2022) y Kasemset et al. (2023) combinan la metodología SLP con algoritmos como ALDEP evidenciando la capacidad de adaptarse a restricciones físicas del entorno y las prioridades operativas, permitiendo eliminar los desplazamientos innecesarios del personal. Por otra parte, la metodología CRAFT aplicados por autores como Ramírez Drada et al. (2019) y Moreno et al. (2015) demuestran ser eficaces en la mejora de los costos de manejo de materiales.

La metodología SLP fue seleccionada por ser un método estructurado y ampliamente utilizado para organizar la disposición de las instalaciones, su principal objetivo es mejorar la eficiencia y productividad de la planta mediante la reducción del desperdicio, el aumento de las tasas de flujo y la minimización de las distancias recorridas por los materiales y productos (Sarikaya et al., 2024). Además, este enfoque permite al investigador visualizar y analizar la relación de los departamentos entre sí de una manera clara, mediante el uso de gráficos y diagramas, lo cual facilita la comprensión del análisis, es decir, permite identificar las relaciones y necesidades de producción facilitando que las áreas fuertemente relacionadas se ubiquen más cerca lo que reduce su tiempo y esfuerzo dedicados al transporte (Sarikaya et al., 2024).

Complementado el enfoque cualitativo y estructural de SLP, se incorpora el algoritmo CRAFT, técnica asistida por ordenador diseñada para desarrollar y mejorar una disposición existente basándose en datos cuantitativos (Febianti et al., 2020, como se citó en Sarikaya et al., 2024). Esta mejora el diseño de una distribución gradualmente con la finalidad de reducir los costos de transporte, el cual asocia la distancia, considerando datos como el flujo de materiales entre departamentos y el costo asociado al transporte por unidad de distancia, si bien este no garantiza un óptimo sus resultados son cercanos.

Una vez establecida una distribución base mediante SLP, se eligió el método CRAFT como herramienta de mejora debido a su capacidad de refinar layouts a través de iteraciones computacionales que minimizan el costo de manejo de materiales. En este sentido, CRAFT se basa en cálculos cuantitativos de flujos y distancias, lo cual permite una mejora más precisa del layout propuesto inicialmente. A diferencia de algoritmos como CORELAP o ALDEP, que generan propuestas iniciales, CRAFT mejora layouts existentes, ajustando la ubicación de las áreas mediante permutaciones que buscan la mejor configuración posible desde el punto de vista del costo operativo.

En relación con lo anterior, diversos estudios como Paredes Rodríguez et al. (2016) en el cual implementan la metodología SLP como base para la mejora a través de los métodos cuantitativos CRAFT y QAP, donde se obtuvo que el mejor resultado, y el cual permitió la reducción tanto del flujo de materiales como de personal fue mediante CRAFT, pues se atribuye a una combinación entre un análisis cualitativo y cuantitativo, en otro sentido, de lo propio con lo real. Finalmente, la combinación de estas dos metodologías permite aprovechar la estructura y el análisis cualitativo de las relaciones de SLP con la capacidad de mejora cuantitativa relacionada a los costos, y el análisis basado en datos de CRAFT, dado a lo anterior fueron seleccionadas las metodologías mencionadas para el desarrollo de las propuestas de redistribución.

Restricciones

Baño: El baño de la fábrica está ubicado en el primer piso al fondo de esta, es un baño mixto que a su vez da abasto para los dos pisos que tiene la fábrica, este se considera como una restricción a las propuestas de distribución ya que su costo de traslado es alto y su reubicación es una tarea compleja debido a las instalaciones de tuberías entre otros, además de ser casi innecesario, pues este no hace parte del flujo que deben llevar los materiales y productos, igualmente si se ve desde la ubicación que tienen las escaleras a la segunda planta, está relativamente centrado, por ende es considerado como inmóvil y su ubicación actual no genera retrasos, por otra parte el encargado de la fábrica no considera la construcción de ubicado en el segundo piso que atienda las necesidades del personal de dicho piso.

Escaleras: Se encuentran ubicadas a unos 52,41 mtrs de la entrada de la fábrica, representa una gran distancia para los trabajadores, para los materiales y los productos ya terminados que se producen en el segundo piso, pero bajan al primero a ser exhibidos en el almacén de producto terminado, pero esta representa una restricción, ya que el lugar donde está ubicada

la fábrica no es propio, además de ello menciona el propietario menciona que le sería muy costoso realizar modificaciones en la estructura para la nueva ubicación de ella.

Área administrativa: Esta área presenta restricciones operativas debido a su ubicación estratégica, por ende, deberá quedar ubicada en partes cercanas a la entrada principal de la fábrica, además tiene proximidad con la zona de ventas (almacén) y, por ende, con los clientes. Esta cercanía, aunque conveniente en términos de interacción directa, limita la privacidad y concentración del equipo administrativo, debido al constante flujo de personas y el ruido asociado a agentes externos. Asimismo, la infraestructura tecnológica como la conexión a internet y la disponibilidad de demás conexiones pueden influir en la eficiencia de las operaciones administrativas.

Almacén: Esta se debe a su relación con la zona de acceso a los clientes, ya que genera un impacto en la visibilidad de los productos terminados, además de esto, los productos son próximos a la zona de embarque, lo que facilita su despacho, por ello el área del almacén es una restricción, ya que actualmente está ubicado en la entrada de la fábrica y cumple con las condiciones que para el propietario son las ideales en su estrategia de captar la atención de los clientes. Por tal motivo, esta área al igual que la administrativa, tienen como ubicación ideal espacios cercanos a la entrada principal.

Método SLP (Systematic Layout Planning)

Para la aplicación de este método es necesario realizar un análisis cualitativo y cuantitativo para saber el grado de relación entre áreas, con el fin de obtener una identificación de los departamentos que requieren de una mayor cercanía, teniendo en cuenta factores como el ruido generado por la maquinaria, la inmediatez de los materiales y la sinergia entre los departamentos, es decir departamentos que compartan herramientas o grandes volúmenes de materiales entre ellos. Este valor total de cercanía cuenta con una valoración alfanumérica para calificar los factores mencionados anteriormente, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Valor total de cercanía (TCR).

Alfa	Cercanía	Valor	Color
A	Absolutamente necesario	4	
E	Específicamente importante	3	
I	Importante	2	
O	Ordinario	1	
U	No Importante	0	
X	No deseable	-1	

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de relaciones

Este diagrama busca mostrar de manera grafica el grado de relación que existe entre cada área, ya sea por volúmenes de producción, flujo del proceso, maquinaria compartida entre otros factores. Lo que se observa posteriormente corresponde al diagrama de relaciones de la distribución actual tabla 5, y a partir de ella se pueden generar alternativas que reduzcan al máximo el cruce entre líneas con mayor relevancia las líneas asociadas a valores de mayor relación, estos valores también se conocen como Total Closeness Rating (TCR) o valor total de cercanía como se ve en la [tabla 4](#).

Tabla 5. Diagrama de relaciones.

Diagrama de relaciones																			
	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM	TCR
MP	-	4	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	13
SEC		-	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	17
EST			-	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	12
INS				-	3	3	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	15
CE1					-	4	0	3	3	0	1	0	1	0	-1	0	2	3	24
CE2						-	0	3	0	0	0	1	0	0	-1	0	2	3	8
CYC							-	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
TAP								-	3	0	3	3	3	0	0	0	3	3	31
ENS									-	0	0	0	2	0	0	0	2	0	12
RH										-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PT											-	0	0	2	2	0	0	0	8
BC												-	2	2	0	0	0	0	8
CAB													-	2	0	0	0	0	10

COL	-	2	0	0	0	8
ADM	-	1	0	0	0	3
BÑ	-	1	0	0	0	2
ESC	-	0	0	0	0	23
COM	-	0	0	0	0	9

Fuente: Elaboración propia

En la [tabla 5](#), el departamento con un mayor valor de cercanía resulta siendo el área de tapizado con 31 puntos, el método SLP sugiere la ubicación de este debe ser centrada en la fábrica, pues es la que demuestra tener una mayor relación con las demás áreas, dando una idea general de cómo deben ser las propuestas o distribuciones más adecuadas, según los volúmenes y los flujos de los productos. Esto para todos los diagramas de nodos realizados en la evaluación de las propuestas.

Después de ubicar el área de tapizado centrada se van ubicando las que mayor relación tienen con esta y así mismo hasta seguir con la segunda con mayor valor de TCR, en este caso, corte – ensamble 1 (CE1), permitiendo generar varias alternativas con el fin de reducir la distancia total de transporte.

Tabla 6. Áreas departamentos.

Color	Cod.	Departamento	Actual m ²	Bloques
	MP	Materia prima	86,90	22
	SEC	Secado	158,00	40
	EST	Estibas	51,99	13
	INS	Insumos	147,70	37
	CE1	Corte - ensamble 1	101,04	25
	CE2	Corte - ensamble 2	53,01	13
	CYC	Corte - costura	53,15	13
	TAP	Tapizado	100,33	25
	ENS	Ensamble espejos	23,39	6
	RH	RH	35,43	9
	PT	Producto terminado	173,81	43
	BAC	Bases cama	60,25	15
	CAB	Cabeceros	48,77	12
	COL	Colchones	24,58	6

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Representación gráfica de la distribución actual.

CE2	CE2	CE2	CE2	CE2	BÑ	BÑ	RH	RH	RH	RH	CYC	CYC	CYC	CAB	CAB	CAB	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	
CE2	CE2	CE2	CE2	CE2			RH	RH	RH	RH	CYC	CYC	CYC	CAB	CAB	CAB	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	
CE2	CE2	CE2			TAP	TAP	TAP	TAP	TAP	RH	CYC	CYC	CYC	CAB	CAB	CAB	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	
EST				COM	TAP	TAP	TAP	TAP	TAP	CYC	CYC	CYC	CYC	CAB	CAB	CAB	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	
EST	EST	EST	EST	EST	TAP	TAP	TAP	TAP	TAP	BC	BC	BC	BC	BC	COL	COL	PT	PT	PT								
EST	EST	EST	EST	EST	TAP	TAP	TAP	TAP	TAP	BC	BC	BC	BC	BC	COL	COL	ADM										
EST	EST	ESC	ESC	ESC	TAP	TAP	TAP	TAP	TAP	BC	BC	BC	BC	BC	COL	COL	ADM	ADM									

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Representación gráfica segunda planta.

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

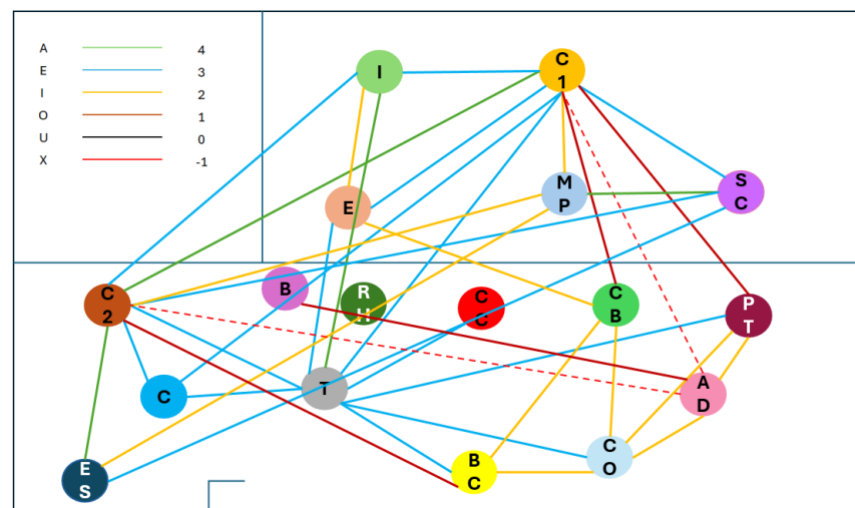
Además de las restricciones establecidas para ciertos departamentos, como el almacén de producto terminado y el área administrativa, la ubicación de cada departamento se determina considerando el índice de cercanía entre áreas y la superficie disponible en la planta. En el caso, del área de Materia Prima y Secado en el segundo piso, responde a la necesidad de exposición solar directa.

Diagrama de nodos

Según Muther (1981) y su metodología SLP, el diagrama de nodos o también conocido como diagrama relacional de actividades es una herramienta fundamental que sirve para presentar gráficamente las relaciones de proximidad o cercanía entre las distintas áreas y departamentos que se encuentran en una planta o un espacio designado a distribuir. Este diagrama se compone de nodos y líneas como se muestra en la figura 11, y las abreviaciones se encuentran en el [anexo 15](#).

Los primeros hacen referencia a las actividades, departamentos o áreas de la empresa, y lo segundo, las líneas que unen estos nodos representan la cercanía o proximidad de la relación entre las actividades, es decir, estas líneas se encuentran ligadas al valor numérico de la tabla 4. Es de resaltar que el número de líneas que une cada departamento es el mismo que su valor de proximidad, sin embargo, debido a la naturaleza del ejercicio y a la cantidad de departamentos en la empresa, se optó por asignar un color a cada valor como se muestra en la columna “Color” de la [tabla 4](#)

Figura 11. Diagrama de nodos distribución actual.



Fuente: Elaboración propia

Centroides de la distribución actual

Establecido lo anterior se calcula los centroides de cada uno, teniendo en cuenta las ecuaciones 1 y 2 para el cálculo de figuras irregulares, estas se aplicaron a los departamentos de corte – ensamble 1 y 2, estibas, RH, corte y costura, administrativo, producto terminado, insumos, materia prima y casa de vigilante tomando como referencia las coordenadas en el plano (figuras 10 y 11). La columna de cuadros indica los metros de la primera figura regular que compone la figura irregular del departamento de CE1, es decir, tanto en su eje X como Y son de 2 por 2 metros. En la columna centroide se aplican las ecuaciones 1 y 2 para X y Y respectivamente, como se muestra en la tabla 7. Este procedimiento se realizó tanto para la distribución actual como las propuestas. Para los demás departamentos (con figuras regulares) se busca el centro de la figura en general.

Tabla 7. *Cálculo de centroides.*

Departamento	Figura	Coordenadas		Cuadros		Área	Centroide	
		X	Y	X	Y		X	Y
CE1	1	23	7	2	2	4	29,7	10,8
	2	30	11	16	6	96		

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber aplicado la ecuación para hallar los centroides de las figuras irregulares, se registra la información en la tabla 8 para posterior a ello calcular las distancias que existen entre cada una de las áreas de acuerdo con la ecuación de distancia euclidiana (3), cabe resaltar que solo se calcula la distancia entre departamentos que existe flujo de material.

Tabla 8. *Centroides de la distribución actual*

Departamento	Centroide	
	X	Y
Corte-costura	24,7	9,8
RH	18,3	11,7
Tapizado	15,0	5,0
Corte - ensamble 1	29,7	10,8
Corte - ensamble 2	4,5	11,3
Estibas	4,2	3,8
Compresores	9,0	7,0
Insumos	16,7	7,6
Ensamble espejos	13,0	2,0
Materia prima	28,5	4,0
Secados	44,0	4,0
Producto terminado	43,5	9,7
Bases cama	25,0	3,0
Cabeceros	31,0	10,0

Colchones	32,0	3,0
Administrativa	35,7	1,7
Baño	12,0	13,0
Escaleras	7,0	1,0

Fuente: Elaboración propia

Matriz de distancia

Como se mencionaba anteriormente, solo se calculan las distancias entre los departamentos que mueven material, todo esto con el fin de multiplicar dicha matriz (figura 12) con la matriz de cantidades de flujo (figura 13) y obtener la distancia total de transporte interno. Para realizar la multiplicación de las matrices se utiliza la suma producto, en la distribución actual da como resultado una distancia total recorrida de 6022 metros diarios.

Figura 12. Matriz de distancia de la distribución actual.

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	16																
SEC		0			15,8												37,1	
EST			0			7,5												
INS				0	13,4				6,7								11,7	
CE1					0												24,8	
CE2						0		12										
CYC							0	11										
TAP								0			28,9	10,2	16,8				8,9	
ENS									0								6,1	
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC			3,9			10,6		8,9	6,1				25,6				0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Matriz de flujo

De igual forma, se determinan los flujos entre departamentos de acuerdo con la secuencia de cada uno de los productos para establecer el número de viajes que se realizan en un día de producción, los [anexos 16-19](#) describen los flujos finales por los que pasan los materiales, productos en proceso y productos terminados, así como las unidades de carga. Es de resaltar que los departamentos que tienen conexión, pero se encuentran en distintas plantas su flujo pasa por las escaleras como es el caso de corte – ensamble 1 a tapizado, secado a estibas e insumos a corte – ensamble 2. Con los flujos ya calculados se establece la sumatoria de estos en la matriz de flujo como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Matriz de flujo de la distribución actual.

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	22																
SEC		0			9,0												13,0	
EST			0			13,0												
INS				0	3,0				1,0								23,0	
CE1					0												15,0	
CE2						0		23										
CYC							0	5										
TAP								0			7,0	10,0	5,0				3,0	
ENS									0								3,0	
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC			13,0			2,0		36,0	3,0				3,0				0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de eficacia

Para el desarrollo de la metodología es necesario realizar el cálculo de la eficacia de la distribución la cual toma en cuenta los valores de la tabla de relaciones, la cual hace referencia al grado de cercanía que se pretende exista entre las áreas productivas. Pues según la relación que tenga un área con la otra, para obtener la eficacia total se debe contar el número de cuadros que hay entre ellas por medio de la representación gráfica y multiplicarse por el número de relación asignado en el diagrama de relaciones. Después de ello, se suman los valores de cada fila para terminar con la sumatoria de estos totales, lo que da como resultado el valor de la eficacia de la distribución.

El cálculo de la eficacia proporciona una visual más realista de cómo se encuentra el flujo de los materiales en la planta de producción, además de las distancias que tienen que recorrer los operarios en cada uno de los viajes que se realizan en un día de producción, así mismo permite identificar de manera más gráfica oportunidades de mejora en el layout. En otras

palabras, es una distancia pondera que entre menor sea indica que es más cercana a lo que debe estar cerca y más lejana a lo que debe guardar distancia. Cabe hacer énfasis en que una distribución de instalación entre menor sea el valor de eficacia, mejor distribuida estará.

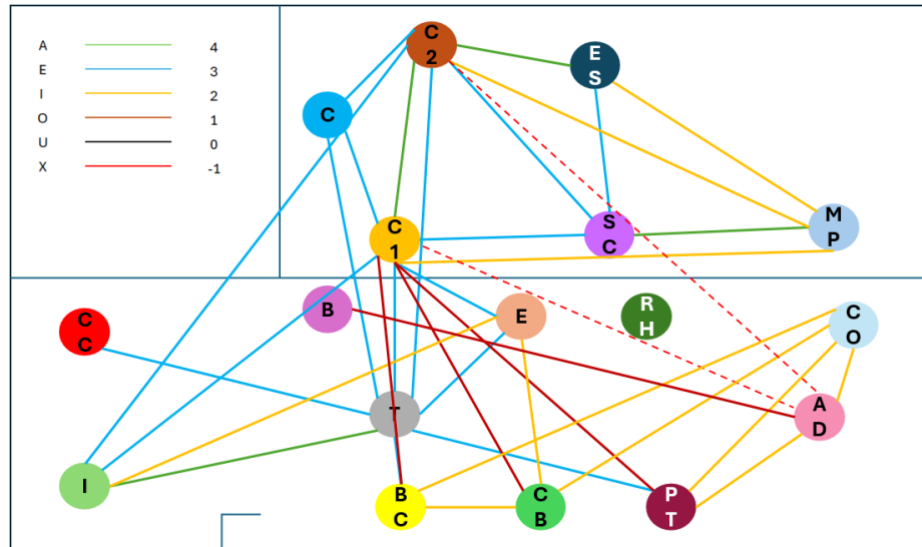
Al realizar el cálculo para la eficacia actual se encuentra que esta es de 695, a partir de este valor se procede a realizar las diferentes propuestas para obtener valores inferiores y que exista una mejora, la cual se ve reflejada en menor distancia total, costos asociados al transporte interno, mayores unidades producidas que a su vez incrementan las utilidades del negocio.

Dado esto, para la construcción de las propuestas se cimienta sobre la matriz de relaciones establecida de acuerdo con la importancia de cercanía en cada departamento. Posteriormente, y en conjunto con la matriz de relación se realiza un diagrama de nodos para cada propuesta, esto con el objetivo de apoyar al proceso de construcción de la representación gráfica de cada una, y continuamente se realizan matrices de distancia y flujo.

Propuesta 1

Para el desarrollo de la propuesta se trabaja con la necesidad de área calculada en el “Método Guerchet”. Así mismo, se realiza un diagrama de nodos como en la distribución actual para evitar el cruce de los departamentos con mayor TCR priorizando aquellos cuya necesidad de cercanía es mayor, como se evidencia en la figura 14.

Figura 14. Diagrama de nodos primera propuesta.

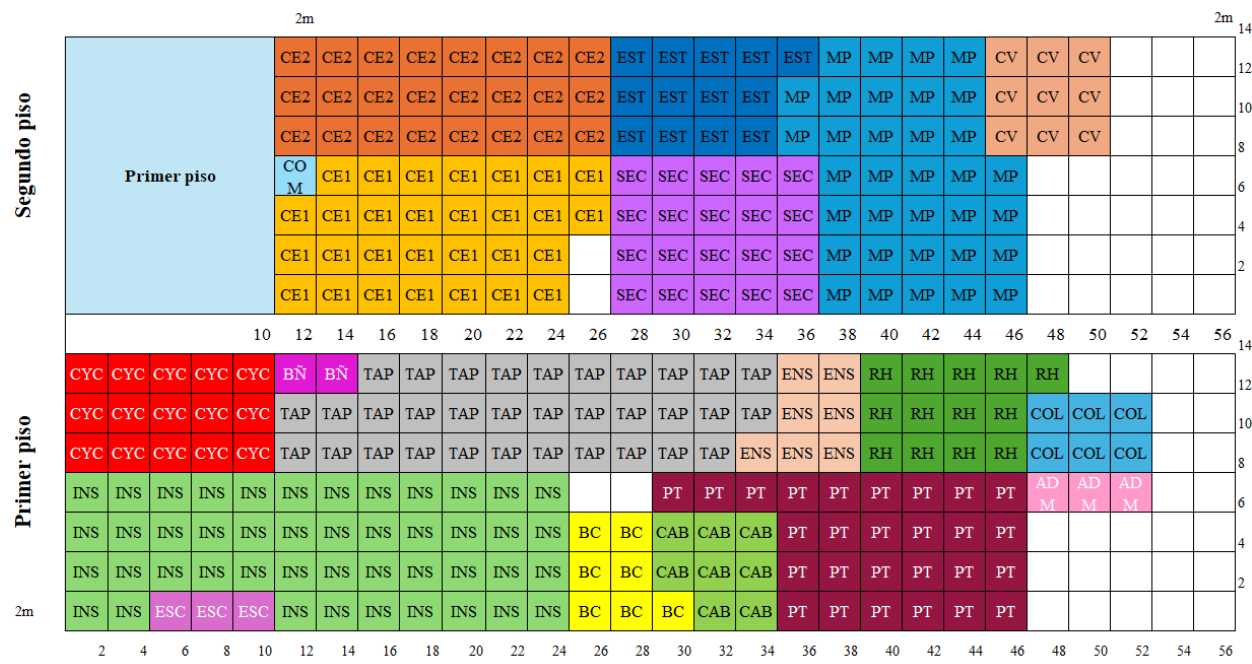


Fuente: Elaboración propia

Este diagrama apoya el desarrollo de la representación gráfica de la propuesta, en la cual se evidencia el intercambio de los departamentos de insumos y ensamble de espejos ubicados en la segunda planta por los departamentos de corte – ensamble 2 y estibas, ubicados en la primera planta, dando como resultado la distribución presentada en la figura 15.

Es de resaltar que, el primer departamento en ser ubicado es tapizado, pues es aquel que cuenta con el mayor índice de cercanía, y también se puede considerar como un área transversal, el cual es alimentado por la elaboración de los esqueletos y los transforma en el producto final.

Figura 15. Representación gráfica de la propuesta de distribución.



Fuente: Elaboración propia

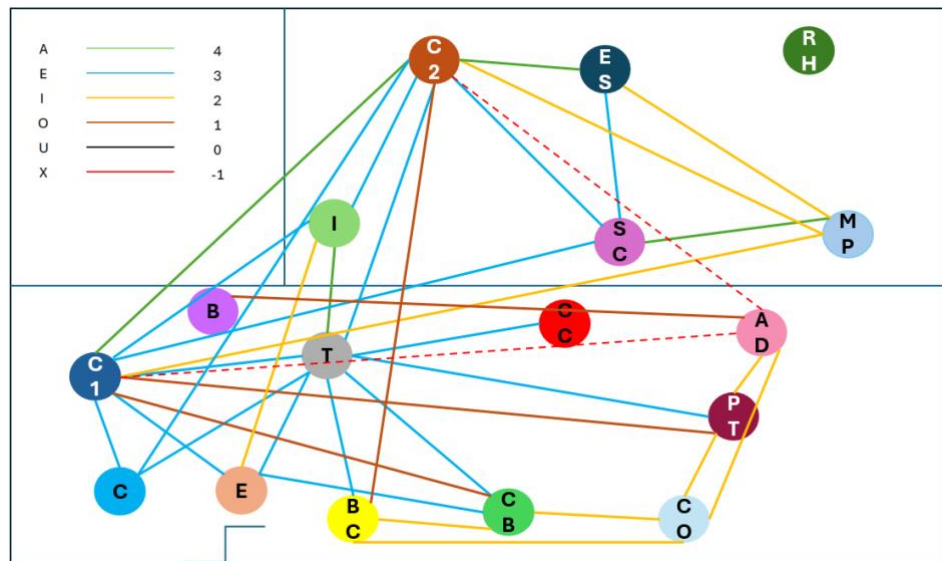
Llevada a cabo la nueva distribución se calcula la eficacia entre los departamentos donde se evidencia una reducción del 28.63%, es decir, un paso de 695 a 496 con respecto a la distribución actual, lo cual indica una mejora. Asimismo, se refleja una reducción en la eficacia del departamento de corte – ensamble 1 con respecto a los departamentos con los que se relaciona esto debido a la cercanía con aquellos que abastecen su proceso pasando de 231 a 107.

Posteriormente, se calculan los centroides de la misma forma que los calculados en la distribución actual, como se evidencia en el [anexo 20](#). En cuanto a la suma producto de la matriz de distancia [anexo 21](#) y matriz de flujo ([anexo 22](#)), se evidencia una distancia total recorrida de 5003 metros diarios existiendo una diferencia de 1019 metros, esto se traduce en una mejora del 17 %.

Propuesta 2

Esta propuesta se realiza basándose en un principio del método SLP el cual sugiere que el área con mayor TRC debe quedar lo más posiblemente centrada. Ya que la fábrica cuenta con dos pisos, su zona más centrada estaría relativamente próximo a las escaleras, buscando estar en una distancia relativamente cerca de las demás áreas que le proporcionan materiales y a su vez le demandan materiales. Así mismo se utiliza el diagrama de nodos para la ubicación estratégica de las demás áreas, con el fin de evitar el cruce entre de departamentos con alta relación, como se muestra en la figura 16.

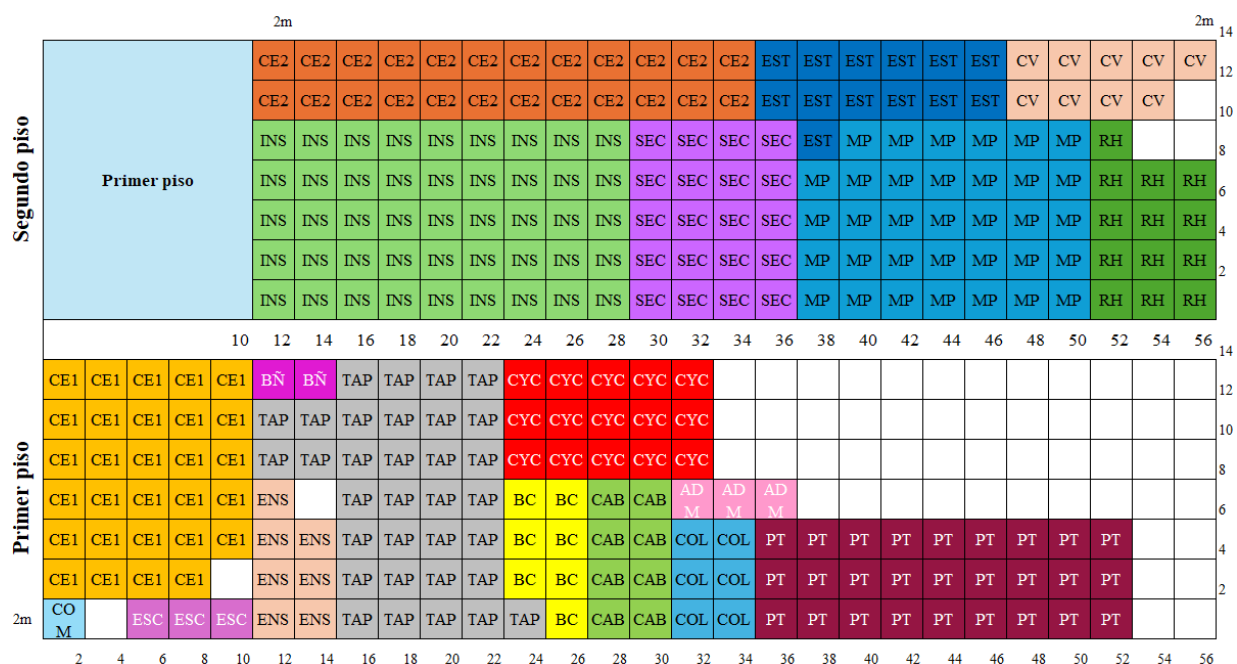
Figura 16. Diagrama de nodos segunda propuesta.



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se obtuvo la siguiente distribución que se evidencia en la figura 17, los principales cambios entre la distribución actual y esta propuesta es la reubicación del área de ensamble y el área de corte y ensamble 1, pasando de estar en la planta alta de la fábrica a estar en el primer piso, evitando el contraflujo existente en la fabricación de los cabeceros con espejo. Además, se muestra una mayor ocupación del área disponible en la segunda planta, dejando en su mayoría los procesos primarios de fabricación.

Figura 17. Representación gráfica de la propuesta de distribución.



Fuente: Elaboración propia

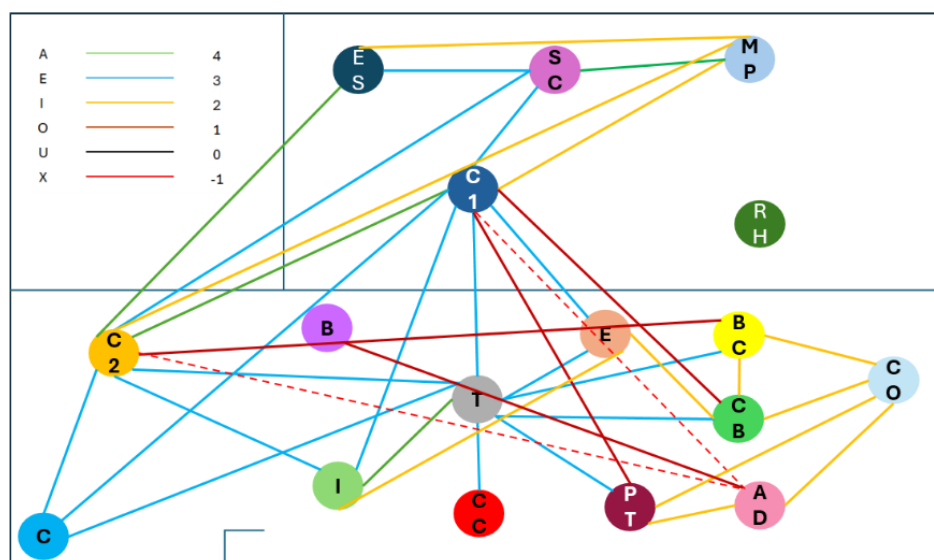
Posterior a la ilustración anterior es posible calcular nuevamente la eficacia para saber si esta nueva distribución es mejor que la actual teniendo en cuenta el número de pasos que existe entre áreas, así mismo su valor asociado a la relación. Se obtuvo una eficacia de 502, que comparada con la actual de 695 se traduce en una reducción del 27,76 %.

Luego de haber hecho los cálculos pertinentes para calcular la eficacia, se procede a encontrar los centroides de esta nueva propuesta y estos se calculan de la misma manera que los centroides de la distribución actual, como se evidencia en el [anexo 23](#), para sucesivamente desarrollar la matriz de distancia como se muestra en el [anexo 24](#) y la matriz de flujo en el [anexo 25](#) en esta matriz su secuencia de transporte entre secado y corte – ensamble 1, insumos con corte – ensamble 1, tapizado y ensamble de espejos y corte – ensamble 2 con tapizado se realiza por las escaleras Logrando así una distancia total de 5422 metros por día, que comparado con la distribución actual la cual es de 6022, presenta una mejora del 10%.

Propuesta 3

En cuanto a la tercera propuesta, al realizar el diagrama de nodos (figura 18), se evidencia con respecto a la distribución actual una carga de departamentos en la primera planta, aprovechando en gran medida, el área más grande, donde los departamentos de insumos y ensamble de espejos se trasladan a esta planta. Asimismo, que las anteriores propuestas el área de tapizado es considera como la primera área en ser ubicada, debido a su transversalidad.

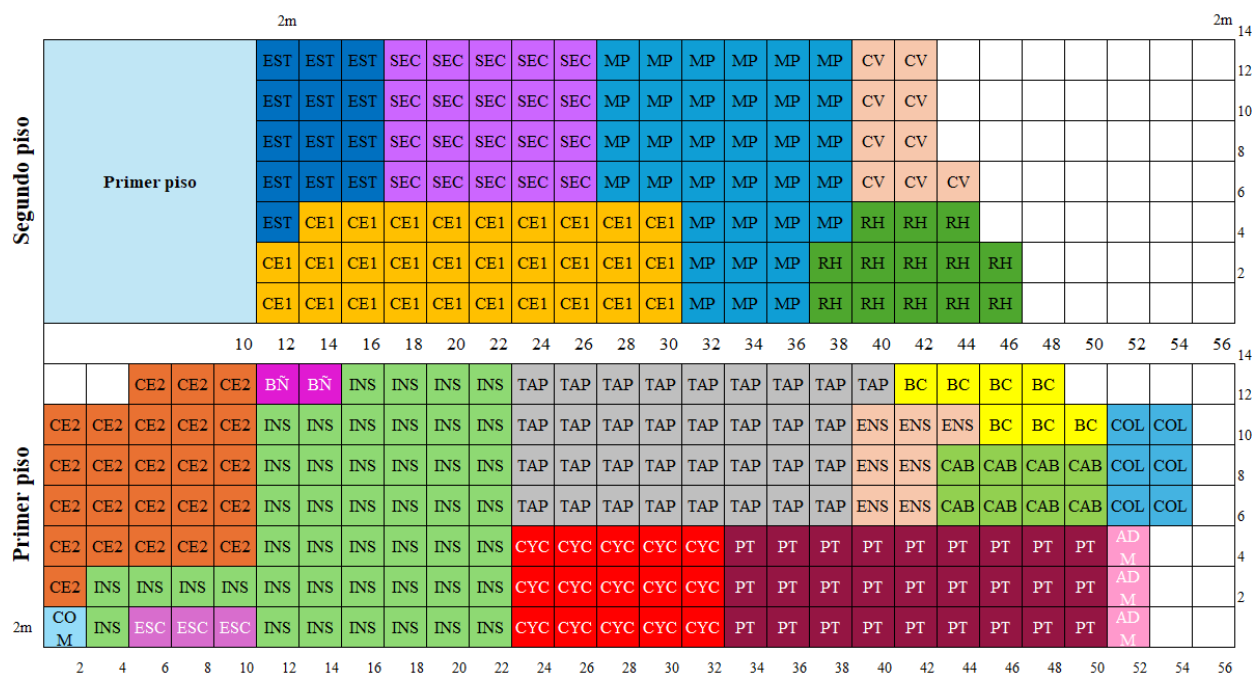
Figura 18. Diagrama de nodos tercera propuesta.

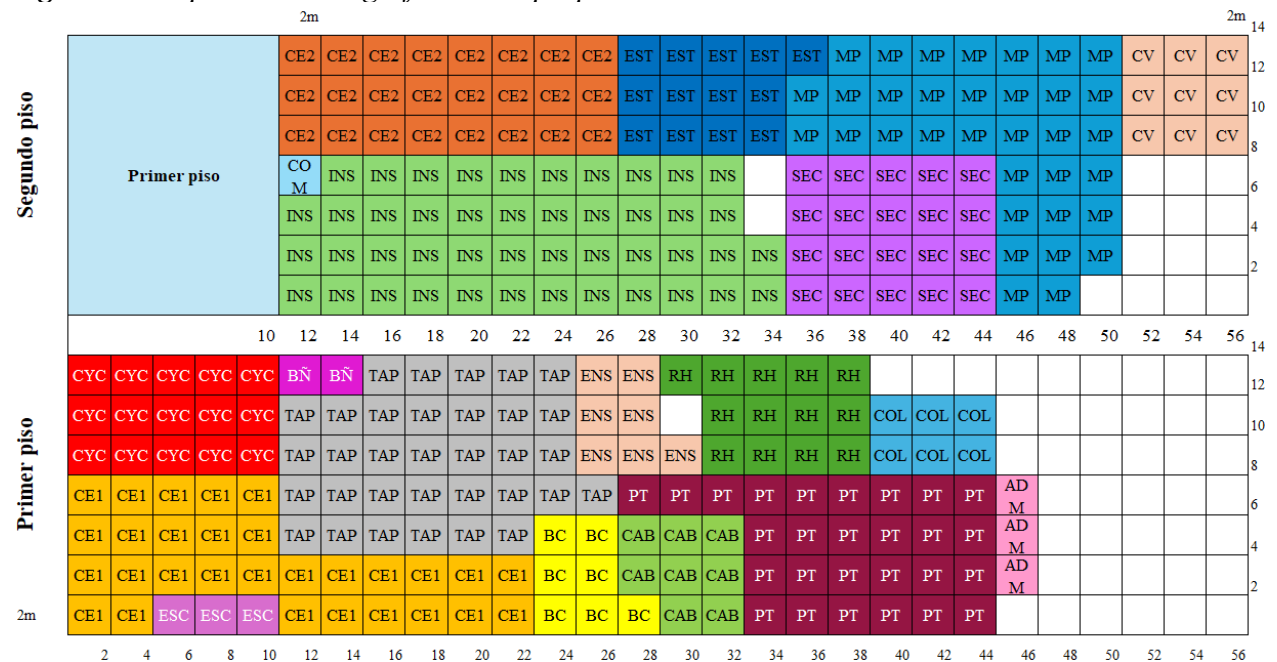


Fuente: Elaboración propia

Como resultado de lo anterior se establece la representación gráfica, en la cual se evidencia un aprovechamiento del área disponible en la primera planta. A grandes rasgos, alberga los procesos primarios de la fabricación de los productos, tales como el almacenamiento de la materia prima, el secado de esta tanto para abastecer el departamento de corte – ensamble 1, como al departamento de estibas, el cual se relaciona con el corte – ensamble 2 en la parte inferior.

Figura 19. Representación gráfica de la propuesta de distribución.





área con la otra, afectando las demás ubicaciones de los demás departamentos, generando a su vez unos nuevos centroides para todos, como se evidencia en el [anexo 29](#).

Después se analizaron las variaciones en la matriz de flujo ([anexo 30](#)) para así mismo calcular nuevamente la distancia real ([anexo 31](#)) con los cambios físicos efectuados, obteniendo como nueva distancia total 4959 metros por día, que comparándose con la distancia actual que es de 6022 metros, presenta una mejor del 17,65%, siendo esta la propuesta con mayor porcentaje de mejora respecto a la distribución actual, permitiendo elegir esta propuesta como la que mayormente puede incrementar los ingresos por venta, pues al ser una distancia menor, permite reducir los tiempos muertos y producir mayores unidades a vender.

6. EVALUACION DEL INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD

La eficacia evaluada durante el desarrollo de las propuestas se refiere a qué tan bien es diseño físico de la planta soporta las operaciones para lograr la mejora de la productividad, es decir, esta funciona como un medio para alcanzar una alta productividad. Para hallar el indicador de productividad se realiza el cálculo entre la producción total y el costo de transporte sobre 1000, para saber por cada \$1000 pesos invertidos cuántas unidades se fabrican. Los productos fabricados diariamente, los cuales se presentan en el [anexo 32](#), a través de la ecuación 4:

$$\text{Indicador de productividad} = \frac{\text{Producción total}}{\text{Costo de transporte}/1000} \quad (4)$$

Dado lo anterior se obtiene el costo total de transporte mensual para cada distribución y el indicador de productividad:

Tabla 9. Comparativo de indicador de productividad.

Distribución	Costo mensual	Indicador (Número de productos/costo total de transporte)
Actual	\$ 854.528,15	0,851932
Propuesta 1	\$ 709.953,08	1,025420
Propuesta 2	\$ 769.344,53	0,946260
Propuesta 3	\$ 761.017,47	0,956614
Propuesta 1 + CRAFT	\$ 703.673,46	1,034571

Fuente: Elaboración propia

Si se analiza la propuesta elegida que es la del método CRAFT esta da como resultado que por cada 1000 pesos invertidos en transporte interno se producen 1,0346 unidades. Este indicador es clave, pues permite cuantificar la productividad de la inversión en temas de logística interna, aunque parece ser un valor bajo si se analiza a profundidad con la operación de esta fábrica, proporciona una mejora en el mediano y largo plazo, ya que al existir una

mejor distribución incrementan los ingresos y eso compensa lo que se destina para el transporte de los materiales.

Además de hallar el indicador de productividad existen otros datos relevantes para confirmar cual es la mejor distribución para la fábrica, a continuación, se presentan los cálculos pertinentes para obtener dichos datos que brindan una visión más holística a la hora de elegir la mejor alternativa.

Para el cálculo del tiempo ahorrado en cada propuesta, primero se calcula el tiempo de transporte interno en cada una, donde, en principio se establece el tiempo que le toma a una persona recorrer un metro son 2 segundos, es decir, que recorre un metro a una velocidad de 0.5 metros por segundo, esta se divide por la distancia total recorrida en metros y el cociente de ambos por 3600 segundos, como se muestra en la ecuación 5:

$$\text{Tiempo de transporte} = \frac{\text{Distancia total recorrida (m)} / \text{Velocidad de caminata } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{3600 \text{ segundos}} \quad (5)$$

Una vez obtenido el tiempo de transporte correspondiente a la distribución actual y a cada una de las propuestas, se procede a calcular el ahorro de tiempo respecto a la situación actual, expresado en horas, utilizando la ecuación 5. Para determinar el ahorro mensual, dicho valor se multiplicó por los 26 días laborables del mes y el ahorro anual se estimó multiplicando el resultado mensual por 12. Estos resultados se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Comparativo de tiempo de transporte interno.

Distribución	T transporte hr	T ahorrado hr	T ahorrado mes	T ahorrado año
Actual	3,345			
Propuesta 1	2,779	0,566	14,716	176,595
Propuesta 2	3,012	0,333	8,671	104,050
Propuesta 3	2,979	0,366	9,518	114,221
Propuesta 1 + CRAFT	2,755	0,591	15,355	184,265

Fuente: Elaboración propia

Al comparar el ahorro de tiempo logrado con cada una de las propuestas respecto a la distribución actual, se obtuvieron los siguientes porcentajes de mejora: 16,92 % para la primera propuesta, 9,97 % para la segunda, 10,94 % para la tercera y 17,65 % para la propuesta CRAFT. Este incremento en la eficiencia del tiempo de transporte permitirá destinar dicho recurso a la fabricación de otros productos, de acuerdo con las necesidades de la empresa o las demandas del mercado.

Actualmente, la producción mensual incluye 78 cabeceros con espejos, 130 cabeceros sin espejos, 182 sofás y 338 bases cama. Con base en la capacidad adicional generada por cada propuesta, es posible incrementar la producción mensual en una cantidad determinada de

unidades, según lo reflejado en la tabla 11. Este cálculo se obtiene dividiendo el tiempo ahorrado en horas por el tiempo de fabricación de cada producto, según el [anexo 33](#).

Tabla 11. Posibles unidades para fabricar de más de cada producto con cada propuesta.

Distribución	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 1 + CRAFT
Cabecero sin espejo	13,796	8,129	8,924	14,396
Cabecero con espejo	6,792	4,002	4,393	7,087
Sofá	7,358	4,335	4,759	7,678
Base cama	11,773	6,937	7,615	12,284

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, uno de los principales problemas identificados en la distribución actual era la extensa distancia que debían recorrer los cabeceros con espejos durante su proceso de producción. Inicialmente, estos eran ensamblados en la segunda planta, luego trasladados a la primera planta para ser tapizados, posteriormente regresaban al área de ensamble de espejos y, finalmente, volvían a bajar para ser almacenados. Este recorrido implicaba una distancia total de 80,45 metros.

Al aplicar las propuestas de mejora, se obtuvieron nuevas distancias recorridas para cada alternativa: en la primera propuesta, 57,51 metros; en la segunda, 35,39 metros; en la tercera, 54,36 metros; y en la propuesta CRAFT, 22,52 metros. Esto representó una reducción en la distancia recorrida del 28,52 %, 56,01 %, 32,42 % y 72,00 %, respectivamente.

Con base en lo anterior, se procedió a calcular el costo de transporte interno con el fin de realizar una comparación integral entre los datos obtenidos y así seleccionar la propuesta que brinde una mejora efectiva en la productividad de la empresa. Este costo se estimó a partir del salario mensual de \$2.043.433, del cual resulta un valor correspondiente por día, por hora y finalmente por segundo. Asimismo, considerando que recorrer un metro toma en promedio 2 segundos, para ello se realizó una observación del proceso de transporte de materiales y productos, a través de mediciones de tiempo en diferentes recorridos, lo cual permitió calcular un promedio general (anexo 34), se estableció un costo por metro de \$5,46.

Este valor se utilizó para calcular el costo diario, mensual y anual de transporte en cada una de las distribuciones propuestas y de la situación actual, en función de la distancia total recorrida. Cabe destacar que el porcentaje de ahorro en costos es equivalente al porcentaje de ahorro en tiempo previamente mencionado, dado que ambos se derivan de la misma relación. Estos resultados se presentan en la tabla correspondiente (12).

Tabla 12. Costo de transporte interno.

Distribución	Costo diario	Costo mensual	Costo anual
Actual	\$32.866,47	\$854.528,15	\$10.254.337,81
Propuesta 1	\$27.305,89	\$709.953,08	\$8.519.436,97

Propuesta 2	\$29.590,17	\$769.344,53	\$9.232.134,38
Propuesta 3	\$29.269,90	\$761.017,47	\$9.132.209,61
Propuesta 1 + CRAFT	\$27.064,36	\$703.673,46	\$8.444.081,50

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el análisis comparativo entre la distribución actual y las distintas propuestas planteadas, la propuesta generada mediante el método CRAFT demostró ser la más eficiente en términos de reducción de recorridos, tiempo y costos.

En primer lugar, la propuesta CRAFT obtuvo la menor distancia total recorrida por los cabeceros con espejos durante el proceso de producción, con solo 22,52 metros, lo que representa una reducción del 72% respecto a la distribución actual (80,45 metros). Esta mejora supera ampliamente a las demás propuestas, cuya reducción osciló entre el 28,52 % y el 56,01 %.

En segundo lugar, al analizar el ahorro de tiempo, la opción CRAFT también lidera con una mejora del 17,65 %, al resto de alternativas. Esta eficiencia en el tiempo se traduce en una mayor disponibilidad de horas productivas que pueden ser aprovechadas para aumentar la fabricación de otros productos de la empresa, ajustándose a la demanda del mercado.

Además, desde el punto de vista económico, el costo de transporte interno por metro calculado con base en el salario del operario permite determinar que el ahorro porcentual en costos es equivalente al ahorro en tiempo. Por lo tanto, la propuesta CRAFT no solo optimiza el flujo operativo, sino que también representa un ahorro económico significativo, como se evidencia en la [Tabla 10](#).

7. RESULTADOS

Una de las mejoras más notables fue la reducción de la distancia total que recorren actualmente los cabeceros con espejo desde su ensamble hasta su almacenamiento ya que está actualmente es de 80,4 metros, y al compararse con el mismo flujo de producción de la propuesta con el método CRAFT, muestra una mejora del 71,99%, pues esa misma distancia en la propuesta CRAFT es de tan solo 22,52 metros, esto mejora la carga laboral que asumen los trabajadores, ya que en la propuesta actual el material tiene que bajar al primer piso, volver a subir y por ultimo bajar a ser almacenado, en la propuesta realizada todas las áreas productivas de esta línea se harían en el primer piso, lo cual elimina carga del trabajador contribuyendo a un mayor satisfacción de este y una mejor disposición.

Se realizaron 3 propuestas con el método SLP, de las 3 se eligió la mejor, y a esta se le aplico el método CRAFT, para ello fue necesario identificar los departamentos con igual área superficial y los que eran adyacentes entre sí para aplicar el algoritmo el cual se basa en hacer intercambios entre estas áreas que cumplen dichas condiciones, después de varias interacciones se obtuvo una mejora.

Esta mejora en comparación con la distancia inicial fue del 17,65 % reduciendo costos de transporte interno y mejorando la eficiencia del tiempo.

El ahorro de tiempo destinado a transporte se traduce en mayores unidades a producir, para la propuesta con CRAFT se obtuvo un ahorro de 15,35 horas al mes, al consultarse con el propietario menciono que la mejor opción sería dedicarlo a hacer cabeceros estándar los cuales se demoran en producir 1,07 horas, es decir que se podrían realizar alrededor de 14 unidades de más al mes, estas unidades tienen un valor comercial de 202.429 pesos, permitiendo incrementar las utilidades generadas en 2.834.000 pesos.

Las propuestas de distribución en planta fueron evaluadas mediante un análisis costo-beneficio, dado que este método permite cuantificar de manera directa la viabilidad económica de cada alternativa considerando variables clave como el costo de transporte interno y el aumento proyectado en la productividad. A diferencia de la simulación de eventos discretos, que, si bien es una herramienta útil para visualizar dinámicas operativas, no necesariamente permite determinar de forma concreta la rentabilidad económica o financiera de una implementación. El análisis costo-beneficio, en cambio, permite comparar numéricamente los beneficios esperados frente a los costos asociados a cada propuesta, facilitando así una toma de decisiones fundamentada en criterios de retorno y eficiencia. Además, este enfoque es altamente aplicable en contextos reales donde la gerencia requiere argumentos financieros claros para priorizar inversiones en mejoras físicas como las relacionadas con la redistribución de áreas.

Cada una de las propuestas fue evaluada gracias a un análisis costo beneficio, ya que este método permite cuantificar de manera directa que tan viable es económicamente cada una de ellas, teniendo en cuenta variables claves como el aumento proyectado en la productividad, además del costo de transporte interno. A diferencia de la simulación de eventos discretos, está siendo una herramienta útil para visualizar eventos diferentes dinámicas operativas, no necesariamente reflejando forma determinante y concreta la rentabilidad económica de una implementación. Por otro parte, este análisis permite comparar monetariamente los beneficios esperados con los costos asociados a cada propuesta. Fundamentando la elección con base a criterios de eficiencia y retorno.

Con el fin de saber si la implementación de esta distribución sería un proyecto viable, fue necesario realizar el análisis costo beneficio, donde se tuvo en cuenta una tasa de interés al capital, considerando las tasas existentes en el mercado de CDT y el costo total de redistribución, como se muestra en la tabla 13, que sería la inversión inicial. Para conocer los flujos de caja futuros fue necesario saber el incremento de los ingresos mes a mes, y traerlos a valor presente neto, obteniendo como resultado 1,22 como se evidencia en la tabla 14, lo que indica que cuando este resultado es mayor a 1 respalda la viabilidad del proyecto, por lo tanto, realizar la distribución traería muchos más beneficios que no hacerla.

Tabla 13. Costo de implementar la propuesta.

Inversión:	Cantidad	Precio	Total	Unidad
Tubería	65,3	\$ 1.718	\$ 112.185	metro x \$/metro
Mano de obra	15	\$ 550.151	\$ 8.252.265	trabajador x \$/trabajador
Instalación tomas eléctricos	10	\$ 20.000	\$ 200.000	tomas x \$/toma
Techado	236	\$ 25.210	\$ 5.949.560	metros x \$/metro
Vigas de madera	10	\$ 66.500	\$ 665.000	vigas x \$/viga
Lámparas	10	\$ 65.000	\$ 650.000	lámparas x \$/lámpara
Total			\$ 15.829.010	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Índice de costo-beneficio.

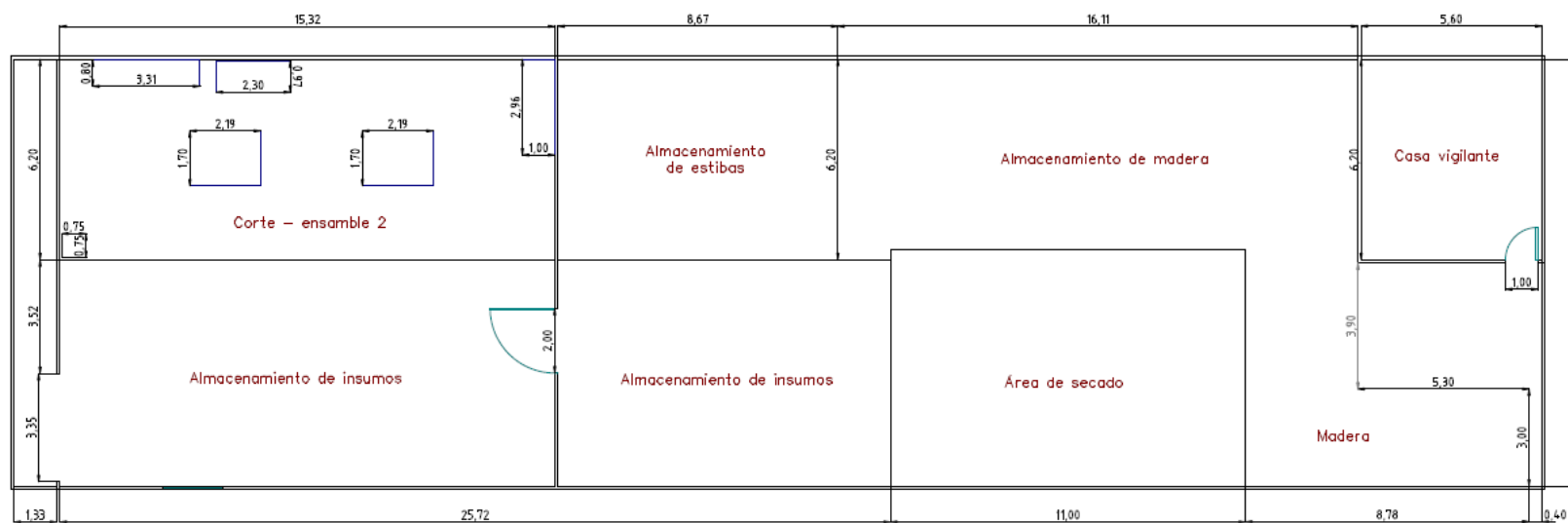
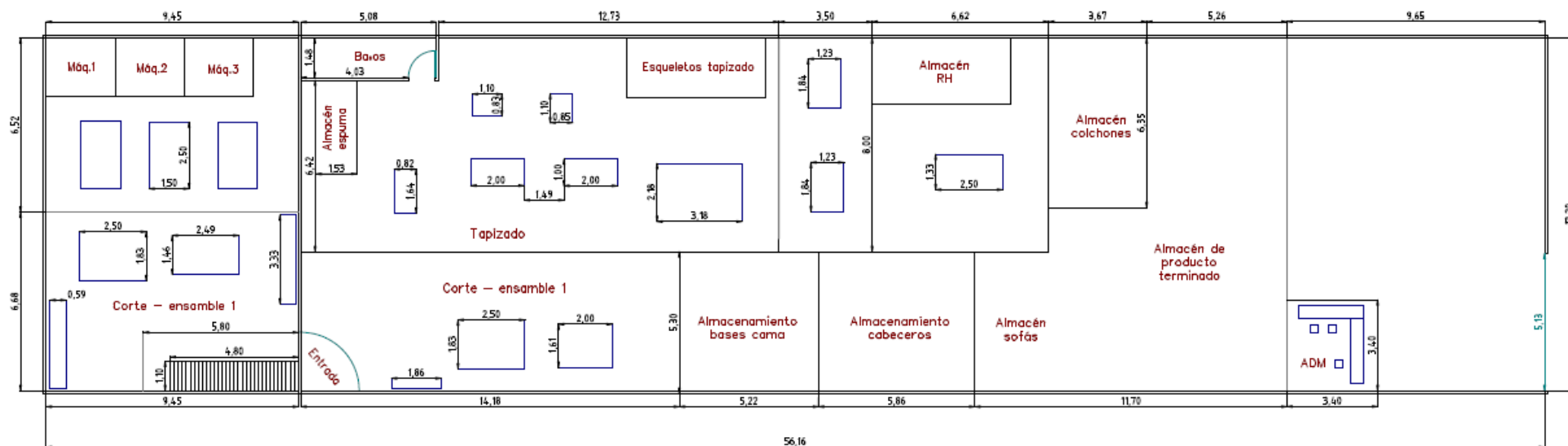
Inversor	Tasa	B/C	Beneficios	Costos
	10%	1,219912183	\$ 19.310.002,63	\$ 15.829.010

Fuente: Elaboración propia.

El layout original presenta una distribución dispersa, generando recorridos innecesarios y cruces entre procesos productivos lo cual afecta la eficiencia general, en comparación con el layout de la propuesta se consigue una mayor organización y aprovechamiento del espacio, con una reubicación estratégica de las diferentes áreas productivas, como lo fue el área de corte, ensamble y tapizado, las cuales evidencian una organización secuencial, esto se traduce en la eliminación de contraflujos, reduciendo los desplazamientos innecesarios y las grandes distancia, permitiendo incrementar la productividad eliminando tiempos muertos y dedicando mayor tiempo a producir más unidades.

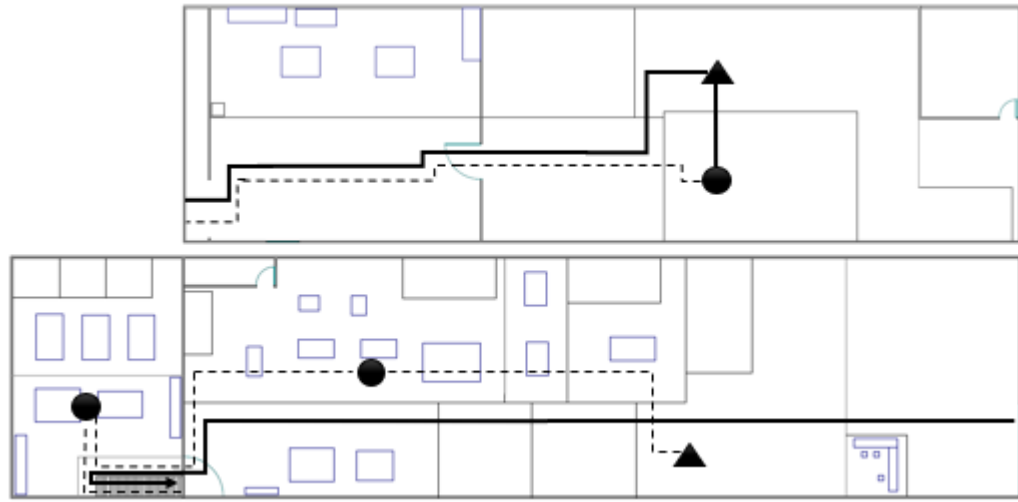
Asimismo, se evidencia una mayor utilización del área disponible en la segunda planta en comparación con la distribución actual. La nueva distribución organiza los procesos primarios, como secado, almacenamiento de materia prima, estibas e insumos, al inicio del proceso productivo. Continuando, con los procesos de transformación de la materia prima en producto en proceso y finalmente, con la obtención del producto final en la primera planta, como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Layout de la propuesta.



Fuente: Elaboración propia

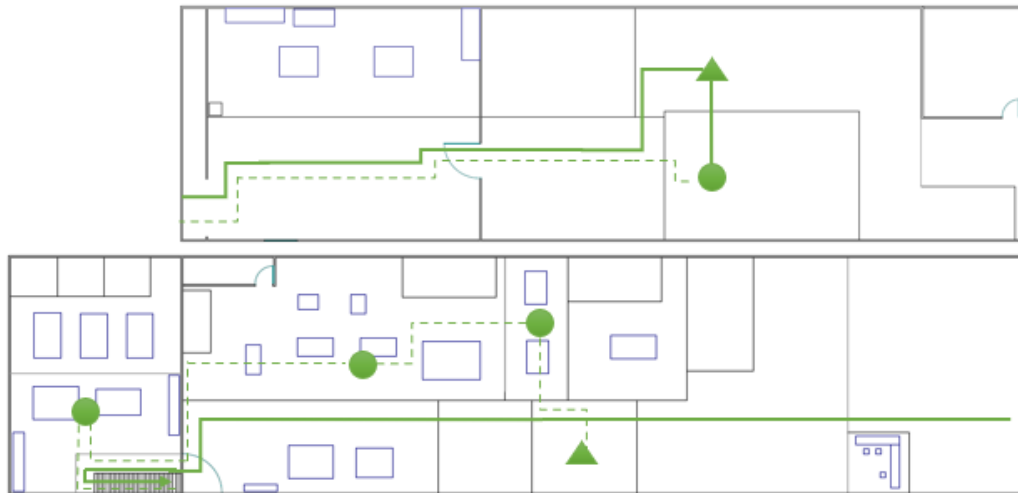
Figura 22. Diagrama de recorrido de la propuesta de los sofás.



Fuente: Elaboración propia

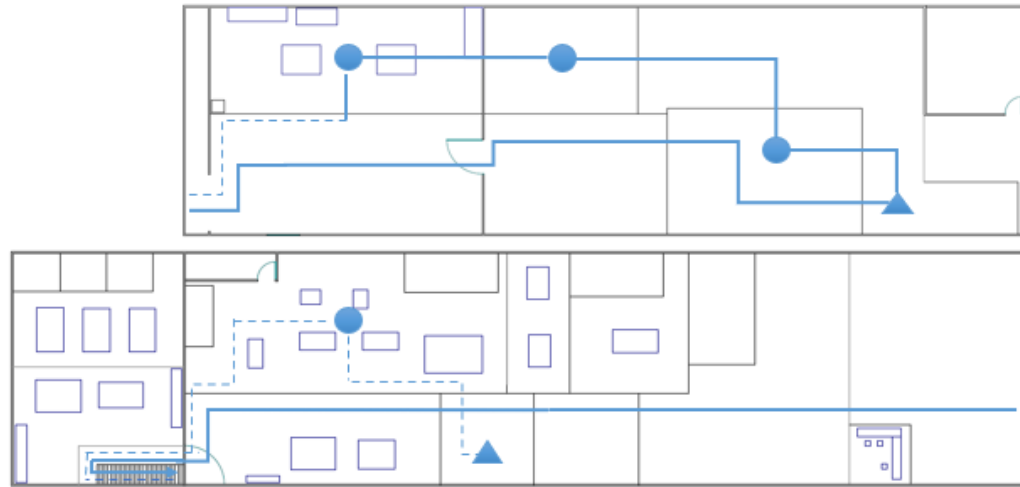
Al comparar el diagrama de recorrido correspondiente a la situación actual de la empresa ([figura 7](#)) con el nuevo diagrama propuesto (figura 22), se evidencia la eliminación del contraflujo hacia el área de ensamble de espejos, es decir, los flujos naranjas en el diagrama original. Esta mejora aborda la problemática que incrementaba de manera significativa las distancias recorridas dentro del proceso productivo.

Figura 23. Diagrama de recorrido de la propuesta de los cabeceros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Diagrama de recorrido de la propuesta de las bases cama.



Fuente: Elaboración propia

8. CONCLUSIONES

La propuesta que se eligió como la mejor fue elaborada con base a la metodología SLP, y mejorada con el algoritmo CRAFT, esta permitió una reducción de la distancia total recorrida por los materiales en el interior de la fábrica, la cual pasó de 6022 metros diarios a 4959, presentando una diferencia de 1063 metros, es decir, una mejora del 17,65%. Esta disminución significativa en la distancia es lograda gracias a la reubicación estratégica de departamentos con una alta relación funcional, en otras palabras, una gran relación con las demás áreas, como tapizado, corte – ensamble 1 y 2, y almacenamiento de insumos; priorizando la cercanía con los procesos que abastecen o demandan recursos. En ese sentido, al conseguir una reducción en los desplazamientos internos, se minimiza el tiempo que se invierte en actividades que no generan valor a la fábrica, además a su vez se disminuye el desgaste físico de los operarios y también se mejora el flujo continuo de los materiales, permitiendo una alineación con los principios del Lean Manufacturing como lo menciona Ali Naqvi et al, (2016). Esta optimización que se basa en cálculos reales de centroides y flujos de material, que demuestra como la adecuada planificación del layout se refleja directamente en la productividad global de la fábrica.

Al comparar el indicador de productividad, definido como la relación entre la distancia total recorrida y la producción diaria, se evidencia una reducción en él, puesto que, en la distribución actual este se ubica en los 215,07 metros por unidad, mientras que, con la aplicación de la propuesta CRAFT se redujo a los 177,10 metros por unidad, lo cual, a grandes rasgos indica una mayor eficiencia en la utilización del espacio, por ende, una mejor administración del tiempo. De igual forma, esta mejora implica que, por cada metro recorrido dentro de la planta se logra movilizar una mayor cantidad de productos en proceso o terminados con un menor consumo de recursos. Finalmente, el valor alcanzado en el

indicador valida que la distribución propuesta no solo reduce recorridos, sino también mejora la capacidad operativa, si bien sin requerir ampliaciones físicas de la infraestructura, pero con modificaciones aceptables.

El análisis de los tiempos empleados en el transporte interno permite calcular que con la distribución actual se invierten aproximadamente 3.345 horas diarias solo en desplazamientos internos, evaluando las alternativas y de acuerdo con la alternativa seleccionada este valor se reduce a 2.779 horas por día, lo cual representa un ahorro de aproximadamente 0.57 horas, es decir, 176.76 horas al año. Este tiempo equivale a más de 22 jornadas laborales al año que podrían ser redirigidas a actividades de producción, inspecciones de calidad o mantenimiento preventivo. En este sentido, la mejora cuantificable refuerza la premisa de que una correcta distribución en planta puede generar ventajas competitivas sostenibles, mediante la eliminación de tiempos muertos, mejor utilización de los recursos y la capacidad de respuesta ante la demanda creciente del mercado.

La aplicación del método Guerchet permite diferenciar la necesidad real de área para cada departamento con las dimensiones actuales utilizadas de la planta. Ahondando en los resultados, se identificaron desbalances notables, como el sobredimensionamiento del departamento de secado y el almacenamiento de producto terminado, esto indica un uso ineficiente del espacio, el cual con las modificaciones realizadas se obtiene un ahorro en el área ocupada de 48.99% y 36.95% respectivamente. Así mismo, se reflejan áreas críticas como corte – ensamble 2 y tapizado las cuales operaban con espacios insuficientes, generando condiciones ergonómicas deficientes y mayores riesgos laborales, estas presentaron un incremento del 77.45% y 32.40% en su capacidad dimensional respectivamente. Por último, la distribución propuesta permite corregir estos desbalances al asignar el espacio con las necesidades operativas reales, mejorando el flujo de los materiales y la reducción de interferencias con otros procesos.

El análisis de la eficacia de los layout, la cual se mide a través de la matriz de relaciones ponderadas entre áreas (TRC), muestra una mejora significativa al aplicar la metodología SLP. La eficacia actual paso de 695 puntos a 496 en la propuesta realizada con el algoritmo CRAFT, lo cual se traduce en una mejora del 28,63%. Este resultado es debido principalmente a la reubicación estratégica del área de tapizado, siendo este el nodo más central según el análisis de relaciones, por ello fue ubicado cerca de las escaleras y de áreas como corte y ensamble, insumos y almacenamiento de producto terminado, lo que permite eliminar los cruces innecesarios entre áreas que tienen un alto intercambio de materiales y maximizar las conexiones directas entre los procesos secuenciales, a su vez se minimizan las interrupciones en el flujo de materiales, se reducen errores a la hora del despacho y se vuelve más fuerte la trazabilidad del producto. Esta mejora cuantitativa y cualitativa en la eficacia demuestra que una planeación sistemática del layout es una herramienta fundamental para incrementar el desempeño operativo y la sostenibilidad en el tiempo de la fábrica.

A partir de este trabajo se desprenden unas posibles líneas de investigaciones futuras, como puede ser la validación de la propuesta mediante la simulación de eventos discretos, todo ello para anticipar cuellos de botella y poder evaluar los escenarios dinámicos. Otra opción sugerida es profundizar en la evaluación del impacto potencial de distribuciones similares en contextos reales o simulados. También se podría optar por enfoques más amplios teniendo en cuenta la productividad multifactorial, o la incorporación de herramientas de industria 4.0, que sirvan para optimizar la toma de decisiones en entornos productivos más complejos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1) doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Álvarez-Arias, D., De Ávila-Moore, J., & Hurtado-Rivera, J. (2022). Aplicación de Metodología SLP para Redistribución de Planta en Microempresa Colombiana del Sector Marroquino: Un Estudio de Caso. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones*, 4(1). <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/4288>
- Chase, R. B., Jacobs, F. R. (2011). *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*. (13a edición). <https://ucreeanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>
- Escalante, A., y González, J.D. (2016). *Ingeniería industrial métodos y tiempos con manufactura ágil*. Alfaomega. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9786076225028_A43649319/preview-9786076225028_A43649319.pdf
- Guerrero Silva, E. J. (2022). *Implementación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) para realizar una propuesta de distribución de planta*. *La Libertad* – 2022. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99817>
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. (7ª ed.) Pearson Educación. <https://matrixeducacion.com/wp-content/uploads/2023/07/Libro-5-Heizer-and-Render-Principios-de-Operaciones.pdf>
- Heragu, S.S, & Chen, J. (1998). Optimal solution of cellular manufacturing system design: Benders' decomposition approach, *European Journal of Operational Research*, Volume 107, Issue 1, 1998, Pages 175-192, ISSN 0377-2217, [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00256-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00256-7).
- Kasemset, C., Opassuwan, T., Tangsittikhun, T., & Chaiyajina, N. Application of Simulation Technique for Improving Plant Layout in Ceramic Factory. *Production Engineering Archives*, vol.29, no.2, 2023, pp.186-194. <https://doi.org/10.30657/pea.2023.29.22>
- Lin, Z, & Yingjie, Z. (2019). Solving the Facility Layout Problem with Genetic Algorithm, *IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Tokyo, Japan, 2019. <https://ieeexplore-ieee.org.bd.univalle.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8715148>

- Marañón-Granados, M. M., Murrieta-Dueñas, R., Cortez-González, J., & Hernández-Juárez, M. A. (2016). Aplicación del Método Systematic Layout Planing (SLP) Para Mejorar La Distribución en Planta del Proceso de Producción de Transformadores. <https://congresoucec.com.mx/documentos/mem2016/Ponencias/P-UCEC558.pdf>
- Mejía, H., Wilches, M. J., Galofre, M., & Montenegro, Y. (2011). Aplicación de metodologías de distribución de plantas para la configuración de un centro de distribución. *Scientia et Technica*, 3(49), 63-68. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1473>
- Meyers, F.E., & Stephens, M.P. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. (3a edición). Pearson Educación.
- Moreno, A., Álvarez, A., Noble, V y López, J. (2015). Optimización multiobjetivo del problema de distribución de planta : Un nuevo modelo matemático. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/2b1e6e95-d670-4bc0-b063-b495b5f665f3>
- Muther, R. (1981). *Distribución en planta*. Hispano Europea. <https://richardmuther.com/wp-content/uploads/2016/07/Spanish-PPL.pdf>
- Nantes, E. A. (2019). Método analytic hierarchy process para la toma de decisiones: repaso de la metodología y aplicaciones. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6060/EI%20m%c3%a9todo%20analytic.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orozco, E. E., & Cervera, J. E. (2013). Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales Apoyado en el Uso de la Simulación de Procesos. *Investigación E Innovación En Ingenierías*, 1(1). <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/2066/1958>
- Paredes Rodríguez, A. M., Peláez Mejía, K. A., Chud Pantoja, V. L., Payan Quevedo, J. L., & Alarcón Grisales, D. R. (2016). Rediseño de una planta productora de lácteos mediante la utilización de las metodologías SLP, CRAFT y QAP. *Scientia Et Technica*, 21(4), 318–327. <https://doi.org/10.22517/23447214.12571>
- Paz Orozco, H., Cañar Truque, J. D., Plazas Pemberthy, L., & Angulo Sinisterra, H. (2018). Propuesta para un diseño de distribución en planta en el área de separado para la empresa de alimentos cárnicos S.A.S, evaluada mediante una herramienta de simulación - Flexsim. *Publicaciones E Investigación*, 12(2), 83-93. <https://doi.org/10.22490/25394088.2961>
- Ramírez Drada, E., Chud Pantoja, V. L., y Orejuela Cabrera, J.P. (2019). Propuesta metodológica multicriterio para la distribución semicontinua de plantas. *Suma de Negocios*, 10(23), 132-145. <https://www.redalyc.org/journal/6099/609964312006/609964312006.pdf>

- Sarıkaya, H.A., Yıldırım Dinç, H., Urgancı, H., A. (2024). Facility Layout Improvement in Brake Pad Manufacturing Using CRAFT Algorithm. *The Journal of Applied Engineering and Agriculture Sciences* 1(1), 27-46.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4080725>
- Tejeda, A. S., (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*, XXXVI (2), 276-310.
<https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=87019757005>
- Vega Hernández, L. F. (2016). Diseño e implementación de la distribución de la planta del área de Metalmecánica para el nuevo taller de la empresa Tecnioriente Well Services And Generation SAS sede (Arauca).
http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2042/1/Vega_2016_TG.pdf

ANEXOS

Anexo 1.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de materia prima.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
	Almacenamiento madera 1*	1	13,00	26,00	22,10	61,10 m ²	h EM	1,7
	Almacenamiento madera 2	1	16,12	32,24	27,40	75,76 m ²	h EF	1,5
	Suma						K	0,56667
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
							136,86 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de secado.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Area de secado 1*	6	2,03	4,06	2,87	53,73 m ²	h EM	1,7
	Area de secado 2	3	2,03	4,06	2,87	26,87 m ²	h EF	1,8
	Suma						K	0,47222
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
							80,60 m ²	

*Hace referencia al secado de las estibas

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de almacenamiento de estibas.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Estibas	6	2,03	4,06	2,87	53,73 m ²	h EM	1,7
	Suma						h EF	1,8
Elementos móviles	Operarios	1	0,50				K	0,47222
	Suma							
							53,73 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de almacenamiento de insumos.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Estantería	6	0,60	1,20	2,42	25,32 m ²	h EM	1,7
	Almacenamiento esqueletos	1	15,00	15,00	40,34	70,34 m ²	h EF	0,63213
	Espumas	15	1,20	1,20	3,23	84,41 m ²	K	1,34466
	Suma							
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
							180,07 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de corte – ensamble 1.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Mesa 1 exterior	1	4,58	9,15	12,97	26,69 m ²	h EM	1,7
	Mesa 2 exterior	1	0,67	0,67	1,27	2,62 m ²	h EF	0,89965
	Mesa 3	1	3,22	6,44	9,13	18,79 m ²	K	0,94481
	Mesa 4	1	4,58	9,15	12,97	26,69 m ²		
	Mesa 5	1	3,64	7,27	10,30	21,21 m ²		
	Mesa 6	2	2,00	2,00	3,78	15,54 m ²		
	Mesa 7	1	0,43	0,87	1,23	2,54 m ²		
	Suma							
Elementos móviles	Operarios	4	0,50					
	Suma							
							114,08 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de corte – ensamble 2.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Mesa 1	1	2,23	2,23	2,17	6,63 m ²	h EM	1,7
	Mesa 2	1	2,65	2,65	2,57	7,87 m ²	h EF	1,74827
	Mesa 3	1	3,72	7,45	5,43	16,60 m ²	K	0,48619
	Mesa 4	1	3,64	7,27	5,30	16,21 m ²		
	Almacen Cortes de madera	1	2,96	2,96	2,88	8,80 m ²		
	Almacen largueros	1	12,77	12,77	12,41	37,94 m ²		
	Suma							
Elementos móviles	Operarios	3	0,50					
	Suma							
							94,05 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de tapizado.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Mesa 1	1	1,34	2,69	3,08	7,11 m ²	h EM	1,7
	Mesa 2	1	6,93	13,86	15,86	36,65 m ²	h EF	1,11493
	Mesa 3	2	0,91	1,83	2,09	9,65 m ²	K	0,76238
	Mesa 4	2	2,00	4,00	4,57	21,15 m ²		
	Almacén provisional espuma	1	5,32	5,32	8,12	18,77 m ²		
	Almacén provisional esqueletos	1	11,29	11,29	17,22	39,80 m ²		
	Suma							
Elementos móviles	Operarios	6	0,50					
	Suma							
							133,14 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de ensamble de espejos.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Mesa 1	1	2,26	4,53	6,79	13,58 m ²	h EM	1,7
	Mesa 2	1	3,61	3,61	7,21	14,43 m ²	h EF	0,85
	Suma				0,00	0,00 m ²	K	1
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
							28,00 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de RH.

	Elemento	Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Mesa	1	3,38	3,38	4,20	10,95 m ²	h EM	1,7
	Estantería RH	1	12,95	12,95	16,12	42,02 m ²	h EF	1,36562
	Suma						K	0,622428
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
							52,97 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de producto terminado.

Elemento		Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Bases cama	10	3,04	3,04	1,53	76,05 m ²	h EM	1,7
	Sófas	10	1,02	1,02	0,51	25,52 m ²	h EF	3,38813
	Cabeceros	10	0,32	0,32	0,16	8,01 m ²	K	0,25088
	Suma							
Elementos móviles	Operarios	1	0,50					
	Suma							
109,58 m ²								

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de bases cama.

Elemento		Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Bases cama	20	0,57	0,57	0,24	27,65 m ²	h EM	1,7
	Suma						h EF	4
Elementos móviles	Operarios	1	0,50				K	0,2125
	Suma							
27,65 m ²								

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de cabeceros.

Elemento		Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Cabeceros	40	0,32	0,32	0,14	31,04 m ²	h EM	1,7
	Suma						h EF	4
Elementos móviles	Operarios	1	0,50				K	0,2125
	Suma							
31,04 m ²								

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de colchones.

Elemento		Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Colchones	20	0,48	0,48	0,20	23,28 m ²	h EM	1,7
	Suma						h EF	4
Elementos móviles	Operarios	1	0,50				K	0,2125
	Suma							
							23,28 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14.

Cálculo de la necesidad de área del departamento de administrativos, el cual incluye gerencia y ventas.

Elemento		Numero de elementos (n)	Superficie estática (Ss)	Superficie de gravitación (Sg)	Superficie de evolución (Se)	Superficie total		
Elementos estáticos	Escritorios	3	0,60	1,20	1,71	10,52 m ²	h EM	1,65
	Sillas	3	0,09	0,09	0,17	1,05 m ²	h EF	0,86957
	Suma				0,00	0,00 m ²	K	0,94875
Elementos móviles	Operarios	5	0,50					
	Suma							
							11,58 m ²	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15.

Nomenclatura del diagrama de nodos

Área	Abreviación
Corte y ensamble 2	C2
Estibas	Es
Compresores	C
Tapizado	T
RH	RH
Baño	B
Bases camas	BC
Corte y costura	CC
Cabeceros	CB
Colchones	CO
Administración	AD
Producto terminado	PT
Ensamble de espejos	E
Insumos	I
Materia prima	MP
Corte y ensamble 1	C1
Secado	SC

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16.

Flujo de cabeceros con espejos

Desde	Hacia	Viajes	Unidad
MP	SEC	2	15
SEC	CE1	2	15
CE1	TAP	3	1
TAP	ENS	3	1
ENS	CAB	3	1
INS	TAP	2	9
INS	CE1	1	3
INS	ENS	1	1
CYC	TAP	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17.

Flujo de cabeceros sin espejos

Desde	Hacia	Viajes	Unidad
MP	SEC	3	15
SEC	CE1	3	15
CE1	TAP	5	1
TAP	CAB	5	1
INS	TAP	2	11
INS	CE1	1	6
CYC	TAP	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18.

Flujo de sofás

Desde	Hacia	Viajes	Unidad
MP	SEC	4	15
SEC	CE1	4	15
CE1	TAP	7	1
TAP	PT	7	1
INS	TAP	5	15

INS	CE1	1	9
CYC	TAP	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19.

Flujo de bases cama

Desde	Hacia	Viajes	Unidad
MP	SEC	13	15
SEC	EST	13	15
EST	CE2	4	15
CE2	TAP	23	1
TAP	BC	10	1
INS	TAP	12	15
INS	CE2	2	14
CYC	TAP	2	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20.

Centroides de la propuesta 1

Departamento	Centroide	
	X	Y
MP	40,29	6,82
SEC	31	4
EST	30,4	11,2
INS	12	4
CE1	17,76	4,0
CE2	18	11
CYC	31	10
TAP	22,15	10,94
ENS	41,57	10,71
RH	42,38	11,15
PT	39	4
BC	26	7,17
CAB	31,25	13
COL	49	10
ADM	47	9

BÑ	13	13
ESC	8	1
COM	11	7

Fuente: Elaboración propia

Anexo 21.

Matriz de distancia de la propuesta 1

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	10	11															
SEC		0	7,18		13,2													
EST			0			12,4												
INS				0				11,9	30,0								5,4	
CE1					0												10,2	
CE2						0											14,1	
CYC							0	8,9										
TAP								0	19,42		18,1	5,7	9,3					
ENS									0				10,6					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC						14,1		17,3					26,2				0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 22.

Matriz de flujo de la propuesta 1

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	22																
SEC		0	13		9,0													
EST			0			13,0												
INS				0				21,0	1,0								5,0	
CE1					0												15,0	
CE2						0											23,0	
CYC							0	5										
TAP								0	3		7,0	10,0	5,0					
ENS									0				3,0					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC						2,0		38,0					3,0				0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 23.

Centroides de la propuesta 2

Departamento	Centroide	
	X	Y
MP	43,18	4,88
SEC	32	5
EST	39,77	11,77
INS	19	5
CE1	4,86	8,17
CE2	22	12
CYC	27	11
TAP	17,42	7,18
ENS	11,86	3,57
RH	52,85	4,38
PT	43	3
BC	24,14	4,43
CAB	28	4
COL	32	3
ADM	33	7

BÑ	12	13
ESC	7	1
COM	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24.

Matriz de distancia de la propuesta 2

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	11																
SEC		0				12,2											25,3	
EST			0			17,8												
INS				0		7,6											12,6	
CE1					0			12,6										
CE2						0											18,6	
CYC							0	10,3										
TAP								0	6,64		25,9	7,3	11,0					
ENS									0				16,1					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC					7,5			12,1	5,5								0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 25.

Matriz de flujo de la propuesta 2

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	22																
SEC		0	13														9,0	
EST			0			13,0												
INS				0		2,0											25,0	
CE1					0			15										
CE2						0											23,0	
CYC							0	5										
TAP								0	3		7,0	10,0	5,0					
ENS									0				3,0					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC					12,0			44,0	1,0								0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 26.

Centroides de la propuesta 3

Departamento	Centroide	
	X	Y
MP	32,41	8,00
SEC	21	10
EST	12,85	9,61
INS	15	6
CE1	20,31	2,93
CE2	5	8
CYC	27	3
TAP	30,27	10,09
ENS	41,29	9,28
RH	41,00	2,69
PT	41	3
BC	46,67	12,00
CAB	46	8

COL	52	9
ADM	51	3
BÑ	12	13
ESC	7	1
COM	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 27.

Matriz de distancia de la propuesta 3

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	12																
SEC		0	8,16		7,1													
EST			0														10,4	
INS				0		10,3		15,6	26,3								9,8	
CE1					0												13,4	
CE2						0		25,2										
CYC							0	7,81										
TAP								0	11		12,9	16,5	15,9					
ENS									0				4,9					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC					13,4	7,7		25,0									0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 28.

Matriz de flujo de la propuesta 3

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	22																
SEC		0	13		9,0													
EST			0															13,0
INS				0		2,0		21,0	1,0									3,0
CE1					0													15,0
CE2						0		23										
CYC							0	5										
TAP								0	3		7,0	10,0	5,0					
ENS									0				3,0					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC					3,0	13,0		15,0									0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 29.

Centroides de la propuesta CRAFT

Departamento	Centroide	
	X	Y
MP	43,76	8,76
SEC	39	4
EST	30,4	11,2
INS	22	4
CE1	9,34	3,48
CE2	18	11
CYC	31	10
TAP	17,36	8,82
ENS	26,43	10,71
RH	33,62	11,15
PT	37	4
BC	24	7,17
CAB	29,25	13
COL	41	10

ADM	47	9
BÑ	13	13
ESC	8	1
COM	11	7

Fuente: Elaboración propia

Anexo 30.

Matriz de flujo de la propuesta CRAFT

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	22																
SEC		0	13														7,0	
EST			0			13,0												
INS				0		2,0											25,0	
CE1					0			15										
CE2						0											23,0	
CYC							0	5										
TAP								0	3		7,0	10,0	5,0					
ENS									0				3,0					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC						10,0		44,0	1,0								0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 31.

Matriz de distancia de la propuesta CRAFT

	MP	SEC	EST	INS	CE1	CE2	CYC	TAP	ENS	RH	PT	BC	CAB	COL	ADM	BÑ	ESC	COM
MP	0	7																
SEC		0	11,2														31,1	
EST			0			12,4												
INS				0		8,1											14,0	
CE1					0			9,63										
CE2						0											14,1	
CYC							0	13,7										
TAP								0	9,26		20,1	7,3	12,6					
ENS									0				3,6					
RH										0								
PT											0							
BC												0						
CAB													0					
COL														0				
ADM															0			
BÑ																0		
ESC					2,8			12,2	20,8								0	
COM																		0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 32.

Producción diaria

Producto	Producción
Cabeceros 1,2 sencillo	2
Cabeceros 1,4 capitoniado	1
Cabeceros 1,4 joba (espejos)	3
Cabeceros 1,6	2
Sofá 1	4
Sofá 1,2	3
Base cama 1	3
Base cama 1,2	5
Base cama 1,40	6
Base cama 1,40 divida	5
Base cama 1,60 divida	4
Total	38

Fuente: Elaboración propia

Anexo 33.

Tiempo de fabricación por producto

Producto	Tiempo fabricación (min)	Tiempo fabricación (hr)
Cabecero sin espejo	64	1,07
Cabecero con espejo	130	2,17
Sofá	120	2
Base cama	75	1,25

Fuente: Elaboración propia

Anexo 34.

Mediciones de tiempo

Ítem	Distancia (m)	Tiempo (s)	Tiempo por metro
1	16	19,8	1,98
2	12	24,4	2,03
3	8	15,6	1,95
4	15	30,1	2,01
5	20	39,7	1,99
6	9	18,3	2,03
7	14	27,5	1,96
8	11	22	2
9	13	26,1	2,01
10	10	19,7	1,97
11	16	32,4	2,03
12	7	13,8	1,97
13	18	36,1	2,01
14	5	9,9	1,98
15	6	12	2
Promedio			2,0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 35.

Entrevista al personal

1. Entrevista para el propietario.

¿Qué productos se fabrican en esta planta?

¿En qué unidad de medidas llega la materia prima y los materiales?

- ¿Cuántos trabajadores operan a diario y número de áreas?
- ¿Presenta problemas asociados a la distribución actual de la empresa?
- ¿Cuáles son las causas principales de esos problemas?

2. Entrevista para el encargado de cada área.

- ¿Cuál es la función de este proceso?
- ¿Cuántos operarios realizan el proceso?
- ¿Materiales entrantes y salidas?
- ¿Cantidades entrantes y salientes?
- ¿Existen distancias excesivas en el transporte de los materiales?

Fuente: Elaboración propia