

**PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA COMPARANDO
UN MÉTODO TRADICIONAL Y UN METAHEURÍSTICO EN UNA
EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO**

**JHONATAN ARENAS ALVAREZ
ANDERSON MILLAN DELGADO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PALMIRA

2018

**PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA COMPARANDO
UN MÉTODO TRADICIONAL Y UN METAHEURÍSTICO EN UNA
EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO**

JHONATAN ARENAS ALVAREZ

ANDERSON MILLAN DELGADO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniería Industrial**

Director:

ING. ALVARO JOSE TORRES PENAGOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PALMIRA

2018

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios y familia por haber sido nuestro apoyo a lo largo de toda la carrera universitaria y a lo largo de nuestras vidas. A todas las personas especiales que nos acompañaron en esta etapa, aportando a nuestra formación tanto profesional y como ser humano.

Agradecimientos

A nuestra familia, por habernos dado la oportunidad de formarnos en esta prestigiosa universidad y haber sido nuestro apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial a nuestro director de trabajo de grado por habernos guiado en la elaboración de este trabajo de titulación, brindarnos el apoyo para desarrollarnos profesionalmente y seguir cultivando nuestros valores.

A la Universidad del Valle, por habernos brindado tantas oportunidades y enriquecernos en conocimiento.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	13
Planteamiento del problema.....	15
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Marco teórico	20
Antecedentes	20
Marco conceptual.....	24
Distribución por producto.....	24
Distribución por proceso.	24
Distribución por posición fija	24
Distribución por celdas de fabricación	25
Superficie estática (Ss).	25
Superficie de gravitación (Sg).	25
Superficie de evolución (Se).....	26
Caso de estudio	29

Descripción actual de la organización.....	29
Clasificación de familias de productos por áreas	30
Descripción de los procesos	31
Distribución actual	38
Dimensiones de los departamentos	38
Flujo entre departamentos	40
Nuevo espacio disponible y descripción del área adquirida	45
Identificación de restricciones y necesidades de la empresa.....	45
Métodos para generar la propuesta de distribución	47
SLP (Sistematic Layout Planning)	49
Algoritmos genéticos (AG)	54
Población inicial	56
Evaluación de aptitud	56
Selección.....	56
Cruce.....	57
Mutación.....	58
Criterio de Parada.....	58
Aplicación de los métodos para la construcción de las propuestas	59
SLP	59
Algoritmo genético.....	66

Evaluación de las propuestas	77
Evaluación de la distribución actual por costo de transporte	79
Evaluación propuesta SLP por costo de transporte	81
Evaluación propuestas algoritmo genético por costo de transporte	82
Evaluación de la productividad	84
Comparación de resultados	87
Conclusiones	90
Referencias.....	93
Anexos	97

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Familias de producto que fabrica la organización.....	97
Anexo 2. Pareto familias de producto Metalistería.....	98
Anexo 3 Pareto familias de producto Vulcanizado.....	99
<i>Anexo 4.Pareto familias de producto Espuma.....</i>	<i>99</i>
Anexo 5.Pareto familias de producto Mecanizado.	100
<i>Anexo 6. Pareto familias de producto Fundición.</i>	<i>100</i>
Anexo 7. Calculo de espacio almacén	101
Anexo 8. Calculo de espacio oficinas	102
Anexo 9. Calculo de espacio empaque	103
Anexo 10. Calculo de espacio mantenimiento.....	104
Anexo 11. Calculo de espacio mecanizado.....	105
Anexo 12. Calculo de espacio metalistería parte 1	106
Anexo 13. Calculo de espacio metalistería parte 2	107
Anexo 14.Calculo de espacio galvanizado y fosfatado	108
Anexo 15. Calculo de espacio espuma	108
Anexo 16. Calculo de espacio fundición	109
Anexo 17. Calculo de espacio vulcanizado	109
Anexo 18. Matriz prioridad para las propuestas SLP	110
Anexo 19. Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 1 SLP	110
Anexo 20. Eficacia propuesta 1 SLP	111
Anexo 21. Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 2 SLP	111
Anexo 22. Eficacia propuesta 2 SLP	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Familias Pareto	31
Tabla 2. Superficie calculada para los departamentos	40
Tabla 3. Secuencia flujo Mecanizado	42
Tabla 4. Secuencia de flujo metalistería	43
Tabla 5. Secuencia de flujo fundición.....	43
Tabla 6. Secuencia de flujo vulcanizado.....	44
Tabla 7. Secuencia de flujo espuma.....	44
Tabla 8. Unidades de carga.....	45
Tabla 9. Matriz de comparación de métodos.....	47
Tabla 10. <i>Códigos de prioridad</i>	51
Tabla 11. Motivos de proximidad.....	52
Tabla 12. Motivos de proximidad para el caso	60
Tabla 13. Códigos de prioridad para el caso.....	60
Tabla 14. Matriz valor prioridad con valores.....	63
Tabla 15. Distancias en cuadrículas.....	63
Tabla 16. Eficacia	64
Tabla 17. Eficacia de las propuestas	66
Tabla 18. Codificación de departamentos.....	69
Tabla 19. <i>Población inicial de cromosomas</i>	70
Tabla 20. Evaluación de aptitud o fitness	71
Tabla 21. Selección mediante parámetro λ	73
Tabla 22. Mutación Aleatoria	75

Tabla 23. Costo total de las propuestas AG	76
Tabla 24. Flujos entre departamentos	78
Tabla 25. Distancia entre centroides distribución actual	79
Tabla 26. Flujo entre departamentos distribución actual	80
Tabla 27. Matriz origen-destino distribución actual	80
Tabla 28. Distancia entre centroides propuesta 1	81
Tabla 29. Matriz Origen-Destino propuesta 1	81
Tabla 30. <i>Distancia entre centroides propuesta 2</i>	82
Tabla 31. Matriz Origen-Destino propuesta 2	82
Tabla 32. Distancia entre centroides propuesta 1	83
Tabla 33. Matriz Origen-Destino propuesta 1	83
Tabla 34. Distancia entre centroides propuesta 1.	84
Tabla 35. Matriz Origen-Destino propuesta 1	84
Tabla 36. Comparación de resultados	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo patas laterales reforzadas, Metalistería.....	32
Figura 2. Diagrama de flujo bujes encauchetados, Vulcanizado. Parte 1.....	33
Figura 3. Diagrama de flujo bujes encauchetados, Vulcanizado. Parte 2.....	34
Figura 4. Diagrama de flujo filtros de aire con guata, Espuma.	35
Figura 5. <i>Diagrama de flujo Ejes, Mecanizado.</i>	36
Figura 6. Diagrama de flujo rines, Fundición.	37
Figura 7. Plano distribución.....	39
Figura 8. Flujos en el plano parte 1.....	41
Figura 9. Flujos en el plano parte 2.....	41
Figura 10. Plano con espacio adquirido.....	46
Figura 11. Proceso racional para preparar el planteamiento SLP. Muther. R. Planificación y proyección de la empresa industrial. p. 28.....	50
Figura 12. Diagrama de relación de actividades. Bravo, D., y Sánchez, C. (2011). “Distribución en planta” p. 24.	52
Figura 13. Diagrama relacional de actividades en industria sideromécnica. Perez, P. et al. (2008) “Metodología para la resolución de problemas de distribución de planta”. p.12	53
Figura 14. Diagrama de flujo para el proceso de algoritmo genético.....	55
Figura 15. a) ejemplo cromosoma. b) esquema de la distribución	56
<i>Figura 16. a) Curvas de llenado con oscilación vertical. b) curvas de llenado con oscilación horizontal. Dominguez C., De los Ríos, G., Velazques, J. “Distribucion de espacios en plantas industriales usando busqueda tabú” P 4.</i>	59
Figura 17. Matriz de relación estado actual.....	61

Figura 18. Plano distribución actual	62
Figura 19. Matriz de relación.....	65
Figura 20. Diagrama relacional de actividades.....	65
Figura 21. Plano propuesta de distribución 1.....	67
Figura 22. Plano propuesta de distribución 2.....	67
Figura 23. Esquema de distribución dividido.	68
Figura 24. Cruce de cromosomas.....	73
Figura 25. Eliminación de genes repetidos.	74
Figura 26. Propuesta AG 1.....	76
Figura 27. Propuesta AG 2.....	76
Figura 28. Flujos en el plano mejor propuesta parte 1.....	88
Figura 29. Flujos en el plano mejor propuesta parte 2.....	88
Figura 30. Plano de mejor propuesta de distribución.	89

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Superficie total	25
Ecuación 2. Superficie estática	25
Ecuación 3. Superficie de Gravitación.....	26
Ecuación 4. Superficie de evolución.....	26
Ecuación 5. Distancia rectilínea.....	26
Ecuación 6. Indicador de productividad	27
Ecuación 7. Función objetivo Costo de transporte	70
Ecuación 8. Función de aptitud o Fitness	71
Ecuación 9. Parámetro de selección λ	72
Ecuación 10. Probabilidad de mutación.....	75
Ecuación 11. Tiempo total de operación.....	85
Ecuación 12. Indicador de productividad estado actual.....	85
Ecuación 13. Tiempo ahorrado.	85
Ecuación 14. Tiempo ahorrado propuesta 1 SLP.....	85
Ecuación 15. Tiempo ahorrado propuesta 2 SLP.....	86
Ecuación 16. Indicador de productividad propuesta 1 SLP	86
Ecuación 17. Indicador de productividad propuesta 2 SLP	86
Ecuación 18. Tiempo ahorrado propuesta 1 AG.....	87
Ecuación 19. Tiempo ahorrado propuesta 2 AG.....	87
Ecuación 20. Indicador de productividad propuesta 1 AG	87
Ecuación 21. Indicador de productividad propuesta 2 AG	87

Introducción

A través del tiempo la necesidad de competir de las organizaciones ha llevado a incursionar en estrategias de mejoras en las mismas para lograr ser más productivos y lograr diferenciarse de su entorno. Las estrategias y la toma de decisiones se vuelven un elemento clave para las organizaciones en mejora de la productividad, como recurso se implementan las herramientas disponibles en su sistema productivo para lograr este objetivo; Entre estas estrategias y decisiones de mejora se tiene la *distribución física de planta* que básicamente es la disposición de todo lo que se necesita como pueden ser máquinas, almacenes, celdas de manufacturas, entre otros, para la fabricación de bienes o prestación de servicios dentro de una instalación (Drira, Pierrival, Hajri-Gabouj, 2007).

La distribución en planta organiza espacialmente los recursos dentro de una organización tales como maquinaria, almacenes, oficinas, entre otros, haciendo que el flujo de materiales sea de la mejor manera posible involucrando tanto productividad como seguridad de los empleados dentro de una organización; a raíz de esto, nace el problema de distribución de planta (FLP) que tiene como base la necesidad de organizar el espacio con que se cuenta de tal forma que se logre minimizar el costo de transporte entre las áreas que lo configuran. (Koopmans y Beckmann, 1957)

Actualmente se encuentran organizaciones que comparten un problema común en su distribución y es que durante su evolución, su crecimiento se realiza conforme a los espacios disponibles que estas poseen, de tal manera que las secuencias de las actividades se distribuyen de una manera arbitraria perjudicando los flujos entre áreas, afectando el bienestar de los trabajadores,

generando reproceso, entre otros; siendo esto un claro ejemplo enmarcado en el problema de distribución de planta (FLP).

Durante el transcurso del tiempo, debido a la necesidad de darle respuesta a este problema de distribución, se han desarrollado diferentes métodos, metodologías y técnicas tales como los métodos exactos, heurísticos y meta heurísticos.

La metodología a seguir para dar cumplimiento a los objetivos que se plantean, se inicia al realizar la búsqueda de una organización del sector metalmecánico con la cual se llevará a cabo el estudio para el diseño de la propuesta de redistribución de planta, seguido a esto, se realiza el análisis del estado actual dando paso a una inmersión en la literatura en búsqueda de los métodos tradicionales y metaheurísticos más usados para la solución del FLP y así escoger los que se usaran para la generación de propuestas de redistribución, comparar sus resultados y pasar a identificar mediante evaluación cuál de los dos métodos escogidos genera un mayor incremento de la productividad.

Planteamiento del problema

En el transcurso de la historia del sector metalmecánico se ha apreciado un auge en su desarrollo a partir de la revolución industrial; esta fue un detonante que hizo que el mundo y su desarrollo se aceleraran. Como resultado, se generaron un sin número de necesidades a satisfacer, las cuales se fueron supliendo gracias a la entrada de empresas con ideas sencillas, propósitos claros y metas definidas. (Betancourt, Gutiérrez y Orjuela, 2005)

En Colombia la industria metalmecánica incursionó a mediados del siglo XIX con la aparición de empresas dedicadas a la fundición, procesos de tallado y fabricación de productos nuevos que aumentaron la demanda en este sector. (Betancourt, Gutiérrez y Orjuela, 2005)

Organizaciones del sector metalmecánico comparten un problema común en su distribución y es que a medida que van creciendo su expansión se da conforme a los espacios que tengan disponibles, emplazando los recursos sin ningún soporte o secuencia lógica que permitan mejorar el flujo; al contrario, estas decisiones se toman arbitrariamente y en la mayoría de los casos por personas sin conocimiento en el área, esto a la larga repercute en el flujo de materiales y seguridad de los trabajadores. Otro de los problemas que se puede apreciar en las organizaciones que desarrollan este tipo de crecimiento, se ve en la necesidad de adquirir terrenos aledaños a la organización para aumentar su capacidad de planta y/o realizar una mejora en su distribución ya que este crecimiento arbitrario compromete los factores de relación entre departamentos; además, tener consecuencias como: altos riesgos de accidentalidad, desorden, mayor fatiga generada por largos recorridos, baja satisfacción y moral de los trabajadores, área ocupada innecesariamente, confusión y congestión de los flujos, reproceso, entre otros.

En otras palabras, se puede apreciar una relación en cada uno de los problemas mencionados anteriormente, los cuales se generan por una distribución poco adecuada para la situación de la organización y el sector en el que se desenvuelve; gracias a estos problemas, nace la necesidad de llevar a cabo una redistribución de la planta para tratar de solucionar los inconvenientes que se presentan tanto en las áreas de producción como en las otras áreas, teniendo en cuenta la relación que poseen entre sí.

En el libro *distribución en planta*, Muther (1981) argumenta que los resultados de una buena distribución en planta se traducen en la reducción de los costos de fabricación como consecuencia de diferentes puntos entre los que se encuentran la reducción del riesgo para la salud y el aumento de la seguridad de los trabajadores, elevación de la moral y la satisfacción del obrero, entre otros. Estos puntos los considera objetivos de la distribución en planta y también los agrupa para expresarlos en forma de principios donde lo concerniente a los trabajadores lo encierra dentro del principio de *Satisfacción y seguridad de los trabajadores* que sustenta bajo el hecho de que: “Será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los productores” puesto que al hacer que los operarios y trabajadores realicen su trabajo con satisfacción se conseguirá automáticamente muchos otros beneficios además de que una distribución no podrá ser efectiva si los trabajadores se ven sometidos a riesgos o accidentes.

Leyva, Mauricio, Salas (2013, p.1) cita a Tompkins et al. (1996) el cual argumenta que una buena distribución de las áreas de trabajo contribuye en la eficiencia global de las operaciones y puede reducir los costos operativos hasta un 50%.

La aplicación de métodos desarrollados a través de la historia han dado técnicas que proveen eficiencia y mejoras en la productividad, entre estos, se encuentran algoritmos simples como los

métodos exactos que han permitido obtener soluciones optimas al problema; a raíz de la limitación que estos poseen respecto al tamaño de las organizaciones han evolucionado obteniendo una nueva definición de términos que arrojan soluciones cercanas al optimo en un tiempo razonable denominadas como métodos heurísticos (Pérez, 2016). Además de estos métodos, se han desarrollado nuevas técnicas de acuerdo al continuo crecimiento y avance tecnológico de las organizaciones para obtener mejores resultados, definiéndose como métodos metaheurísticos.

La empresa objeto de estudio es una empresa familiar vallecaucana del sector metalmecánico fundada en 1985 y dedicada a la fabricación y comercialización de partes para motocicletas en el municipio de Pradera, Valle del Cauca; esta organización cuenta un amplio catálogo de productos que se venden a nivel nacional y exporta a algunos países de Latinoamérica. Actualmente de los productos comercializados la mayor parte son fabricados en su propia planta. En los últimos años esta empresa ha ampliado su nicho de mercado viéndose en la necesidad de expandirse físicamente para lograr nuevas líneas de producto e incrementar la capacidad de producción lo cual conllevó a un crecimiento no planificado; la inadecuada agrupación de los componentes del sistema productivo y otros aspectos, generando retrasos en la entrega de pedidos, contraflujos y cruce de flujos en los procesos de fabricación, desplazamientos innecesarios, además de otros impactos relacionados a la ineficiente distribución, esto se identificó como una oportunidad de mejora. En la actualidad la empresa obtuvo un terreno aledaño para redistribuir la organización y agregar la maquinaria adquirida últimamente puesto que esta no se encuentra ubicada dentro de las líneas actuales.

La organización expresa la necesidad de realizar una redistribución agrupando áreas del mismo proceso que actualmente se encuentran separadas, cumplir con las necesidades de espacio de las

áreas que actualmente no cumplen, disminuir los cruces y contraflujos, disminuir las distancias recorridas y eliminar los desplazamientos innecesarios.

Para dar solución al problema de distribución en planta que se presenta en esta organización del sector metalmecánico, se llevará a cabo una comparación entre un método tradicional y un metaheurístico en búsqueda de adquirir conocimiento en el desarrollo de métodos y metodologías más complejas que puedan arrojar una mejor solución. De acuerdo a lo anterior, surge la siguiente pregunta:

¿Entre los métodos que se seleccionarán para resolver el FLP cual tendrá un mayor efecto en la productividad de la compañía?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta de redistribución de planta para incrementar la productividad comparando un método tradicional y un metaheurístico en una empresa del sector metalmecánico.

Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento del sistema productivo de la empresa en estudio, para identificar su distribución de planta (layout) y el flujo de recursos actual.
- Estudiar los métodos tradicionales y metaheurísticos más usados en distribución de planta con el fin de seleccionar los que se usarán para el diseño de la propuesta.
- Evaluar los resultados obtenidos tras la aplicación del método tradicional y metaheurístico en la distribución de la planta de la empresa en estudio, con el propósito de seleccionar aquel que genere un mayor incremento en la productividad.

Marco teórico

Antecedentes

Durante el transcurso de la historia se han presentado diversos autores que han estudiado el problema de distribución en planta (FLP), observando que los casos reales cambian de acuerdo a las características y restricciones del mismo; por esto, se han desarrollado diferentes métodos que dan respuesta a las condiciones de un caso real.

La primera definición de planta fue propuesta por Koopmans, Beckmann, (1957) como un problema en ubicar las instalaciones dentro de un área minimizando el costo de transporte entre las mismas.

Drira et al (2007) cita a Kouvelis, Kurawarwala y Gutierrez (1992) como uno de los pioneros en el planteamiento del problema de distribución dinámica tomando los posibles cambios en el flujo de material de múltiples periodos, es decir, que el horizonte de planeación es dividido en periodos y para cada uno de estos, se determinara el flujo; el plan para el problema de distribución dinámica consiste en una distribución asociada a cada uno de los periodos.

Leyva et al (2013) cita a Tompkins et al (1996) afirmando que una buena distribución de los departamentos o estaciones de trabajo, contribuye a la eficiencia total de las operaciones logrando reducir hasta un 50% los gastos operativos.

Se aumenta la complejidad del problema asegurando que un departamento puede tener dimensiones en longitud y ancho, en este caso, los departamentos se consideran como particiones rígidas dentro del espacio de la organización (Chwif, Pereira y Moscato, 1998) aunque también afirman que un departamento pudiera estar definido por su área.

Kochhar, Foster y Heragu (1998) introducen la posibilidad de llevar a cabo la distribución del problema no solo de forma horizontal sino también de manera vertical, argumentando su propuesta en una relación entre el costo de una distribución vertical y el costo horizontal teniendo en cuenta la disponibilidad del terreno para la distribución horizontal.

Meller, Narayanan y Vance (1999) aseguran que se debe encontrar un arreglo ortogonal plano para las áreas iguales y desiguales sin llegarse a sobreponer los departamentos en la distribución, también plantean como objetivo minimizar la distancia entre departamentos de acuerdo al flujo entre los mismos.

Dominguez, De los Ríos, Velázquez (2005) citan a Glover y Laguna (1993) como los desarrolladores del método de búsqueda tabú, el cual realiza una exploración heurística inteligente del espacio de soluciones, y que requiere menores recursos computacionales para dar solución al FLP

Rojas (2005) desarrolla un algoritmo genético en su trabajo de grado “Distribución de planta para una oficina bancaria por medio de algoritmos genéticos” para realizar la distribución de las áreas que componen una oficina bancaria adaptando el algoritmo bajo un modelo de zonas que se llenaran en el sentido de las agujas del reloj para la asignación de las propuestas encontradas, además enuncian el modelo para la configuración de una oficina “virgen”, una distribución de la misma desde cero.

Glover, Batista (2006) dan una introducción a las bases de la búsqueda tabú, las características del método y como es usado para resolver problemas.

Según Leyva et al, (2013) que cita a Krajewsky (2008) el FLP es la decisión de realizar un arreglo físico más eficiente de una cantidad de departamentos que interactúan en un sistema. También define la instalación como una entidad que ocupa un espacio dentro de un área, además agrega que la distribución en planta se planea para lograr minimizar un determinado criterio, como puede ser el flujo y el costo de los materiales.

Matai, Singh y Mittal (2010) enuncian la categorización de los métodos de solución del FLP como métodos exactos, heurísticos y meta heurísticos. Además de esto, dividen los métodos heurísticos en algoritmos gráficos, algoritmos de construcción y algoritmos de mejora.

Palacios y Jaimes (2011) mencionan que los algoritmos genéticos han sido estudiados desde 1962 por el conocido padre de este metodo Jhon Holland y su estudiante David Goldberg; gracias a ellos existen investigaciones más puntuales respecto al tema.

García, Pierreval, Salas y Arauzo (2013) representó la distribución en la estructura de bahía flexible para lograr distribuir en un área rectangular (HxB) departamentos desiguales.

Alvarez, Moreno, Noble y Lopez (2013) enuncian algunos autores los cuales ha realizado trabajos con algunos métodos metaheurísticos, entre ellos el recocido simulado utilizado para minimizar el costo de manejo de materiales realizado por Ohmori et al. (2010). Por otra parte Pillai et al. (2011) presentan un modelo robusto del problema de distribución para plantas dinámicas

Andrade y Rodríguez (2016) realizan un híbrido entre Búsqueda Tabú y un Algoritmo genético para dar solución a su trabajo de grado “Solución al problema de distribución de planta dinámico (DFLP) para instalaciones de áreas iguales mediante el híbrido búsqueda tabú – algoritmo genético.” y proponer una distribución que minimice la suma de los costos de manejo de

materiales y rediseño en múltiples periodos de fluctuación de la demanda; además, realizan la comparación de la efectividad del algoritmo planteado bajo tres tamaños de plantas diferentes.

Pérez, (2016) concluye que la mayoría de la literatura se enfocan en la distribución de plantas en organizaciones completamente nuevas, pues buscan diseñar la distribución del espacio sin la influencia de los límites o restricciones que conlleva hacer la redistribución de una organización ya existente.

Además de esto Pérez (2016) enuncia algunos autores de los métodos de modelado de FLP como lo son el problema de asignación cuadrática (QAP) (Koopmans y Beckman, 1957) de cobertura cuadrática de conjuntos (QSP) (Bazaraa, 1975), programación lineal entera (LIP) (Lawler, 1963) y a través de programación entera mixta (MIP) (Kaufman y Broeckx, 1978) al igual que ha sido formulado mediante teoría de grafos (Foulds y Robinson, 1978).

Al revisar estos antecedentes se puede entender que el FLP es algo muy común que busca organizar los departamentos de tal manera que, sin violar sus restricciones, maximicen la cercanía entre ellos; logrando así, generar una reducción en los costos de transporte de materiales y aumento en la productividad.

Marco conceptual

Distribución en planta. Maniya y Bhatt (2011) concuerdan con Drira et al (2007) en definir la distribución en planta como la organización de todo aquello que hace parte de la fabricación de un bien o la prestación de un servicio, tales como maquinas, materiales, departamentos, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, áreas comunes dentro de una instalación, entre otras; en búsqueda del objetivo establecido.

Tipos de distribución. Una distribución en planta adecuada refleja beneficios a la empresa, lo cual se traduce en un aumento en la eficiencia y por lo tanto en la competitividad; se encuentra dependiendo del patrón de flujo los siguientes tipos de distribución.

Distribución por producto. Esta distribución dispone toda la maquinaria y equipos para la fabricación de un determinado producto siguiendo una secuencia de operaciones que se realizan sobre el material a transformar, este tipo de distribución es adecuado para la fabricación de grandes volúmenes de productos normalizados.

Distribución por proceso. La distribución por proceso agrupa la maquinaria, equipos y recursos que realizan operaciones o procesos similares dentro de una misma área en la organización; este tipo de distribución busca ubicar de manera adyacente aquellos procesos entre los que se encuentran una gran cantidad de flujo, este tipo de distribución se adopta para dar respuesta a diferentes lotes de productos

Distribución por posición fija. Esta se emplea en proyectos de gran envergadura donde el material permanece estático mientras que los operarios, máquinas y equipos se desplazan hasta los puntos de operación. Generalmente esta distribución trata con grandes productos de los

cuales se fabrican pocas unidades de manera discontinua en el tiempo, por lo cual, es habitualmente adoptada en la fabricación de buques, aviones, grandes motores o en la construcción de obras civiles.

Distribución por celdas de fabricación. Esta distribución es un híbrido entre la distribución por procesos y productos en donde se agrupa la maquinaria y equipos que se usan para realizar un conjunto específico de procesos con el fin de fabricar productos con características similares.

Requerimientos de espacio. Sánchez y Soberon (2017, p. 23) usan el método Guerchet para hallar los requerimientos de espacio de los equipos en la organización caso de estudio; Según este método, la superficie total requerida es la suma de tres superficies: superficie estática, de gravitación y de evolución.

Ecuación 1. Superficie total

$$St = Ss + Sg + Se$$

Superficie estática (Ss). Es la superficie resultante de multiplicar largo por ancho de la maquina o equipo.

Ecuación 2. Superficie estática

$$Ss = L * A$$

Superficie de gravitación (Sg). Es el área requerida alrededor de las maquinas o equipos para el desarrollo de operaciones, esta es el resultado de multiplicar la superficie estática por el número de lados que puede ser usado la maquina o equipo.

Ecuación 3. Superficie de Gravitación

$$Sg = Ss * N$$

Superficie de evolución (Se). Es la superficie necesaria entre puestos de trabajo para los desplazamientos y manutención.

Ecuación 4. Superficie de evolución

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

Donde K es un coeficiente que varía entre 0.05 y 3 dependiendo del tipo de actividad productiva.

Distancia rectilínea. La distancia rectilínea mide la distancia entre dos puntos con una serie de giros de 90°, como las manzanas de casas de una ciudad, Carro, R., Gonzales, D, (2012). Esta distancia es comúnmente utilizada en el campo de distribución, ya que tiene en cuenta la posibilidad de que existan obstáculos entre dos puntos, rodeándolos de manera rectilínea y no pasando sobre estos.

Ecuación 5. Distancia rectilínea

$$d_{AB} = |X_A - X_B| + |Y_A - Y_B|$$

Productividad. La productividad es el cambio cualitativo que proporciona mejores formas de hacer las cosas; los indicadores de productividad permiten saber la cantidad de bienes producidos

con bases a los recursos necesarios para realizarlos, tales como: materia prima, tiempo, mano de obra, entre otras.

Ecuación 6. Indicador de productividad

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Recurso\ utilizado}$$

Métodos de distribución. La necesidad de solucionar el FLP ha llevado a plantear diferentes métodos de solución, los cuales Mattai et al (2010) categoriza como métodos exactos, heurísticos y meta heurísticos.

Algunos métodos exactos para la distribución en planta son modelados matemáticamente como un problema de asignación cuadrática (QAP) (Koopmans y Beckmann, 1957). Los métodos heurísticos son una secuencia de pasos que permiten encontrar soluciones de buena calidad, aunque no necesariamente óptima. Según Moslemipour, Lee, y Rilling (2012) estos pueden ser clasificados en dos clases: primero, los algoritmos de construcción que son aquellos que consisten en la selección y asignación de los centros en el plano buscando minimizar el costo en el flujo de materiales; segundo, algoritmos de mejora que son aquellos que parten de una solución inicial y buscan mejorarla mediante un enfoque. En los últimos años han evolucionado estos métodos en busca de una mejor solución desde diferentes enfoques, conociéndose como métodos metaheurísticos, algunos de los más conocidos son el recocido simulado, algoritmos genéticos, búsqueda tabú y colonia de hormigas, entre otros.

Dentro de los métodos exactos comúnmente mencionados en la literatura se encuentran:

- Problema de asignación cuadrática (QAP)
- Programación entera mixta

Los métodos heurísticos comúnmente mencionados en la literatura se categorizan métodos cualitativos y métodos cuantitativos, entre los cualitativos tenemos el método SLP el cual fue desarrollado por Richar Muther y es uno de los más conocidos para dar solución al FLP. Entre los métodos cuantitativos tenemos algoritmos de mejora y algoritmos de construcción, dentro de cada uno estos se agrupan los siguientes:

- Algoritmos de construcción: son aquellos que consisten en la sucesiva selección y centros en el plano, siempre en búsqueda de minimizar el costo en que se incurre:
 - ALDEP
 - CORELAP
- Algoritmos de mejora: son aquellos que parten de un estado inicial para ser mejorado, el común en la literatura es:
 - CRAFT

Los métodos metaheurísticos han logrado ser aplicados exitosamente en la solución del FLP, obteniendo una solución de calidad; entre estos métodos los más nombrados son los siguientes:

- Búsqueda tabú (TS)
- Algoritmos genéticos (GA)
- Simulación Recocida (SA)
- Colonia de hormigas (ACO)
- Enjambre de partículas (PSO)

Caso de estudio

Descripción actual de la organización

La empresa en el desempeño de su actividad comercial de fabricación y comercialización de repuestos para moto cuenta con diferentes procesos que se diferencian dentro de las áreas o departamentos en que se divide internamente la organización; Cada departamento dispone de maquinaria específica de su proceso, también se evidencia que algunos presentan la necesidad de hacer uso de maquinaria de otras áreas. En la revisión de la estructura actual de la empresa se evidenció diferentes peculiaridades entorno a restricciones y riesgos que se deben tener en cuenta al momento de proponer una nueva distribución para la organización.

La organización se encuentra dividida en departamentos de acuerdo a la función que se cumple en cada uno de ellas, las cuales son los siguientes:

- Empaque
- Almacenamiento
- Oficinas
- Mecanizado
- Metalistería
- Fundición
- Vulcanizado
- Espuma
- Galvanizado y Fosfatado
- Mantenimiento

Galvanizado y fosfatado es un complemento de Mecanizado y Vulcanizado, se toma como un departamento independiente debido al riesgo que genera el proceso que se lleva a cabo dentro de la misma.

Clasificación de familias de productos por áreas

La organización cuenta con variedad de productos, donde cada uno de ellos tiene una amplia cantidad de referencias; por esta razón se ve la necesidad de realizar una clasificación de familias de productos por cada área de trabajo y así lograr comprender el estado actual de la empresa y distribución de esta.

El proceso de clasificación se lleva a cabo bajo un análisis de las familias de productos usando diagramas Pareto para lograr determinar cuáles son las más importantes de cada área de trabajo. La construcción de los diagramas se realizó de acuerdo a la información suministrada por la empresa que comprende más de un año de actividades.

Las familias de productos se agrupan de acuerdo al área en que se fabrican y de acuerdo al tipo de pieza como se muestra en el anexo1.

De acuerdo a esta agrupación, se realiza una clasificación de las familias de productos con ayuda de un diagrama Pareto inicial para determinar cuál es la más relevante en cada una de las áreas (anexo 2 al 6); la familia de mayor relevancia es aquella que comprende la mayor proporción de productos fabricados en el área.

En la tabla 1 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis Pareto identificando la familia más importante de cada área:

Tabla 1. *Familias Pareto*

<u>AREAS DE TRABAJO</u>	<u>FAMILIAS PARETTO</u>
Metalistería	Patas laterales reforzadas
Vulcanizado	Bujes encauchetados
Espuma	Filtros de aire con guata
Mecanizado	Ejes
Fundición	Rines

Fuente. Elaboración propia

Descripción de los procesos

El proceso de fabricación de un bien consiste en desarrollar una secuencia de procesos en los cuales se transforma la materia prima dando como resultado un producto terminado; dentro de la organización, se llevan a cabo procesos de fabricación característicos de cada familia dentro de las áreas. En la construcción de una propuesta de distribución de planta es necesario detallar el flujo de los procesos de fabricación para su posterior análisis; Debido a la gran variedad de referencias con las que cuenta la empresa es necesario realizar la revisión de los flujos de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis Pareto realizado anteriormente.

Metalistería. La metalistería es un proceso que usa diferentes máquinas y herramientas para conformar productos de diferentes piezas metálicas. El proceso que sigue el producto característico de esta área se puede apreciar en la figura 1.

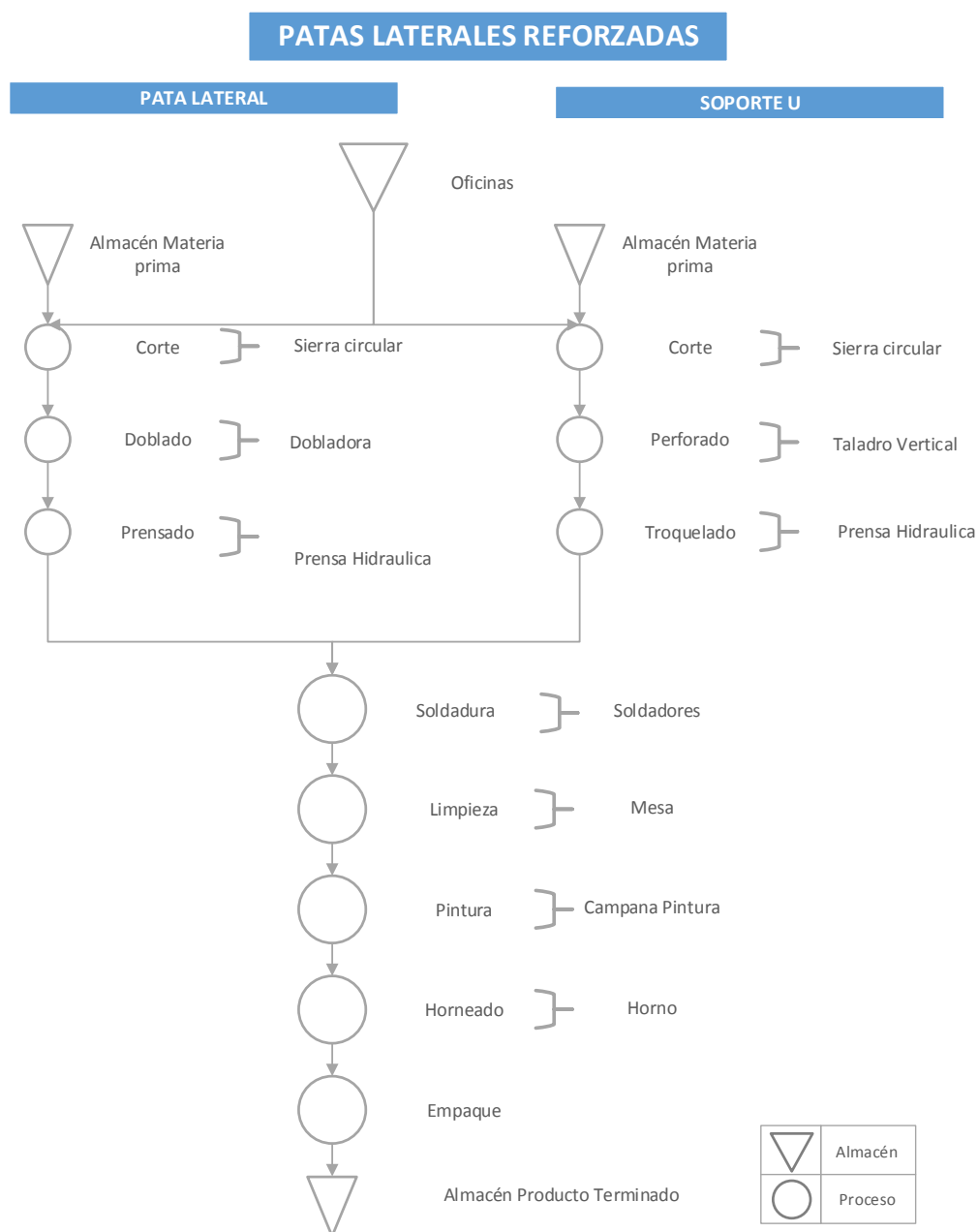


Figura 1. Diagrama de flujo patas laterales reforzadas, Metalistería.

Fuente. Elaboración propia

Vulcanizado. El proceso de vulcanizado se encarga de transformar el caucho por medio de temperatura para hacerlo más resistente, en esta área dentro de la organización, se busca

adaptarlo a los diferentes productos que fabrican; El principal flujo dentro de esta área lo representa la familia de bujes encauchados y se presenta en la figura 2 y 3.

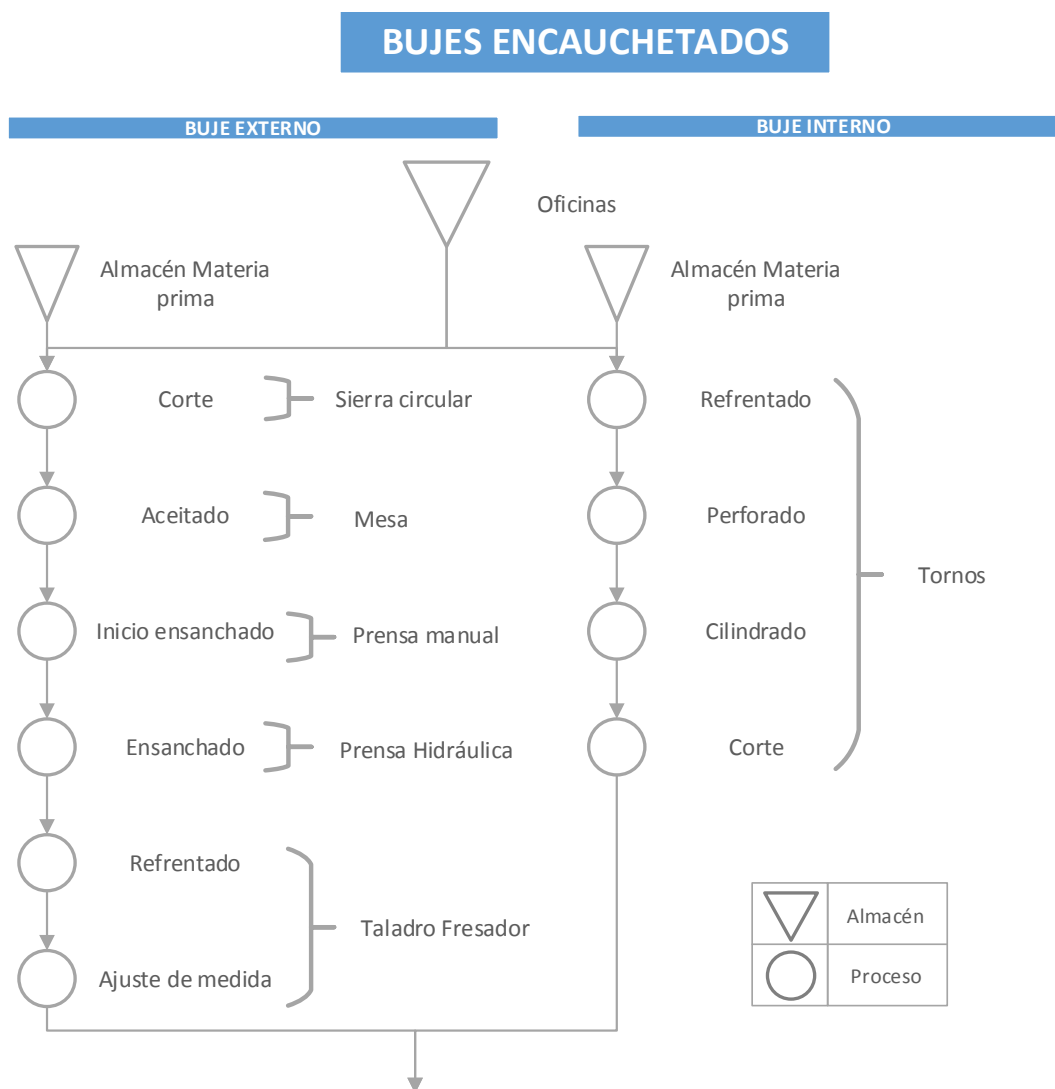


Figura 2. Diagrama de flujo bujes encauchados, Vulcanizado. Parte 1

Fuente. Elaboración propia

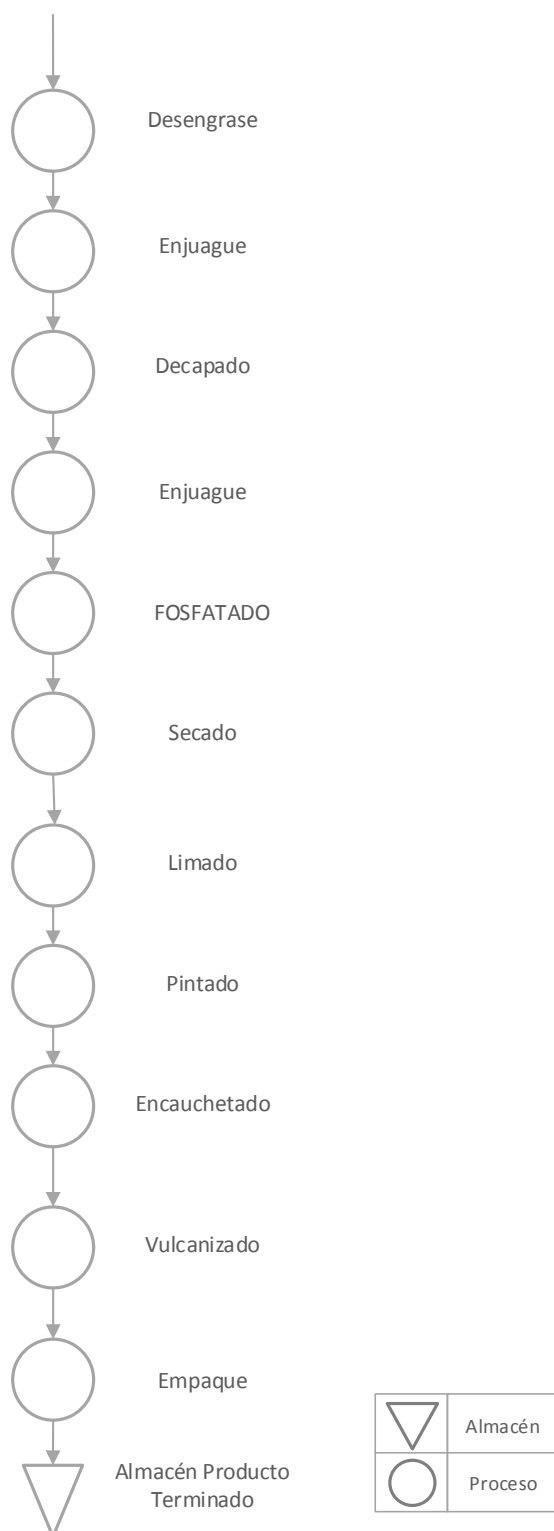


Figura 3. Diagrama de flujo bujes encauchetados, Vulcanizado. Parte 2

Fuente. Elaboración propia

Espuma. Dentro de la organización, esta área es la encargada de realizar los filtros de aire usando espuma y guata, el flujo representativo de esta área se puede apreciar en la figura 4:

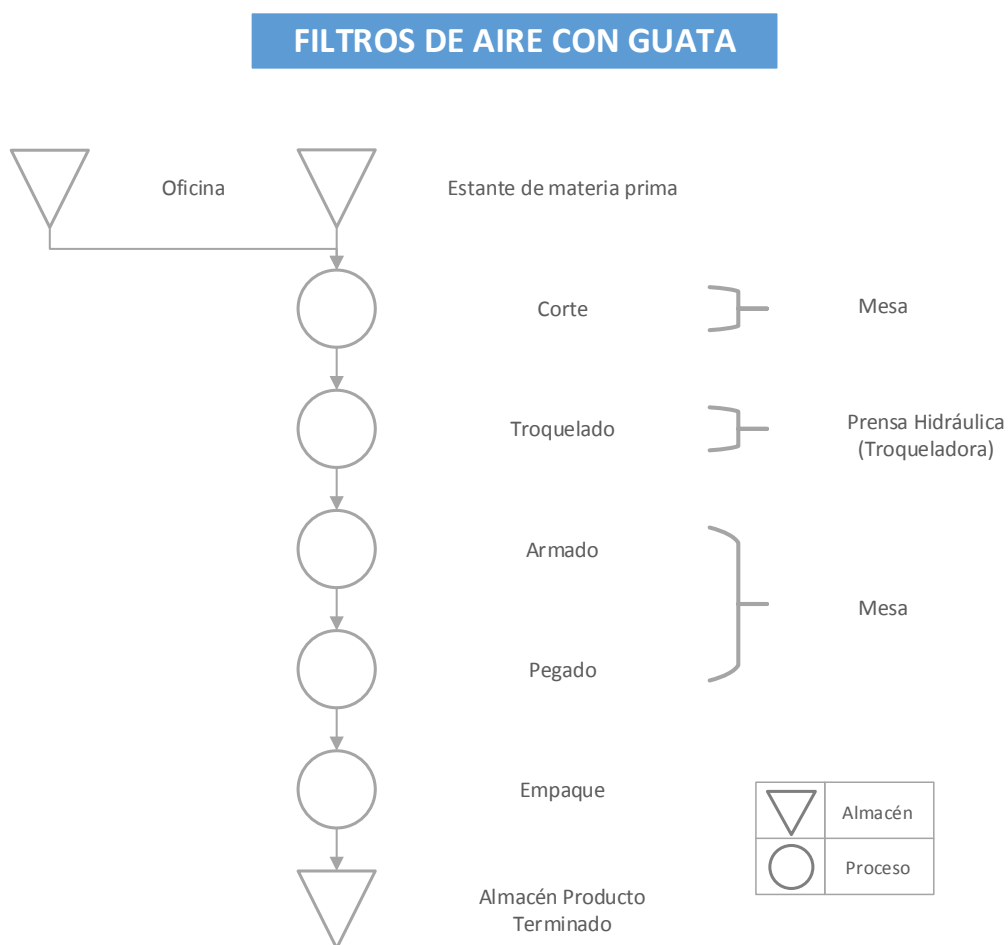


Figura 4. Diagrama de flujo filtros de aire con guata, Espuma.

Fuente. Elaboración propia

Mecanizado. El proceso de mecanizado comprende operaciones donde se elimina material hasta formar una pieza, este proceso es llevado a cabo por dos tipos de remoción, ya sea por

viruta o por abrasión La familia de productos Pareto identificada para esta área siguen un patrón de flujo como se muestra en la figura 5.

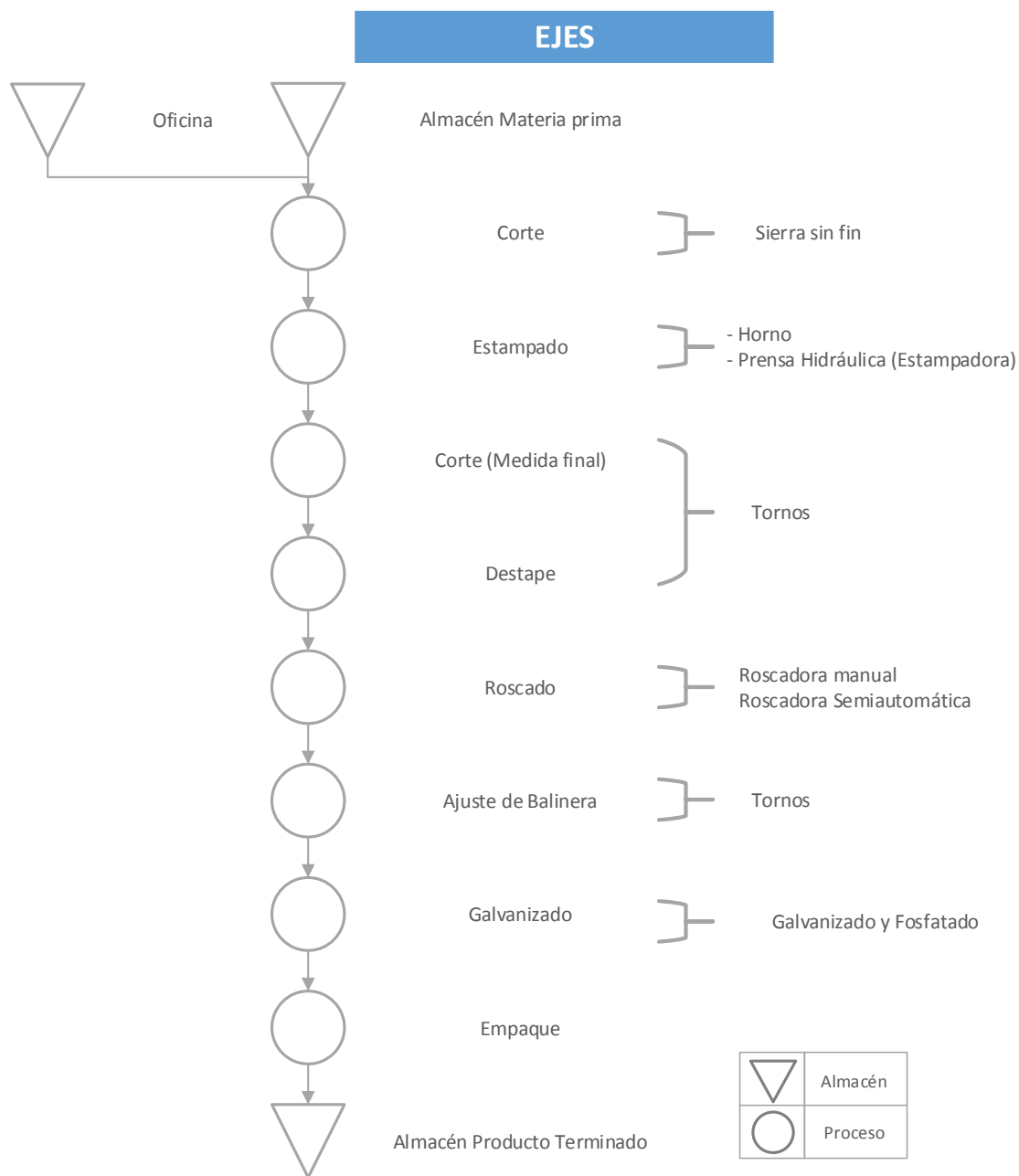


Figura 5. *Diagrama de flujo Ejes, Mecanizado.*

Fuente. Elaboración propia

Fundición. La fundición es el proceso por medio del cual se fabrican piezas metálicas, consiste en llevar el material de fundición hasta su punto de fusión y al cambio de estado, así, por medio de una matriz cambiar su forma. Los rines son la principal familia de productos que se realizan en esta área y siguen el flujo mostrado en la figura 6.

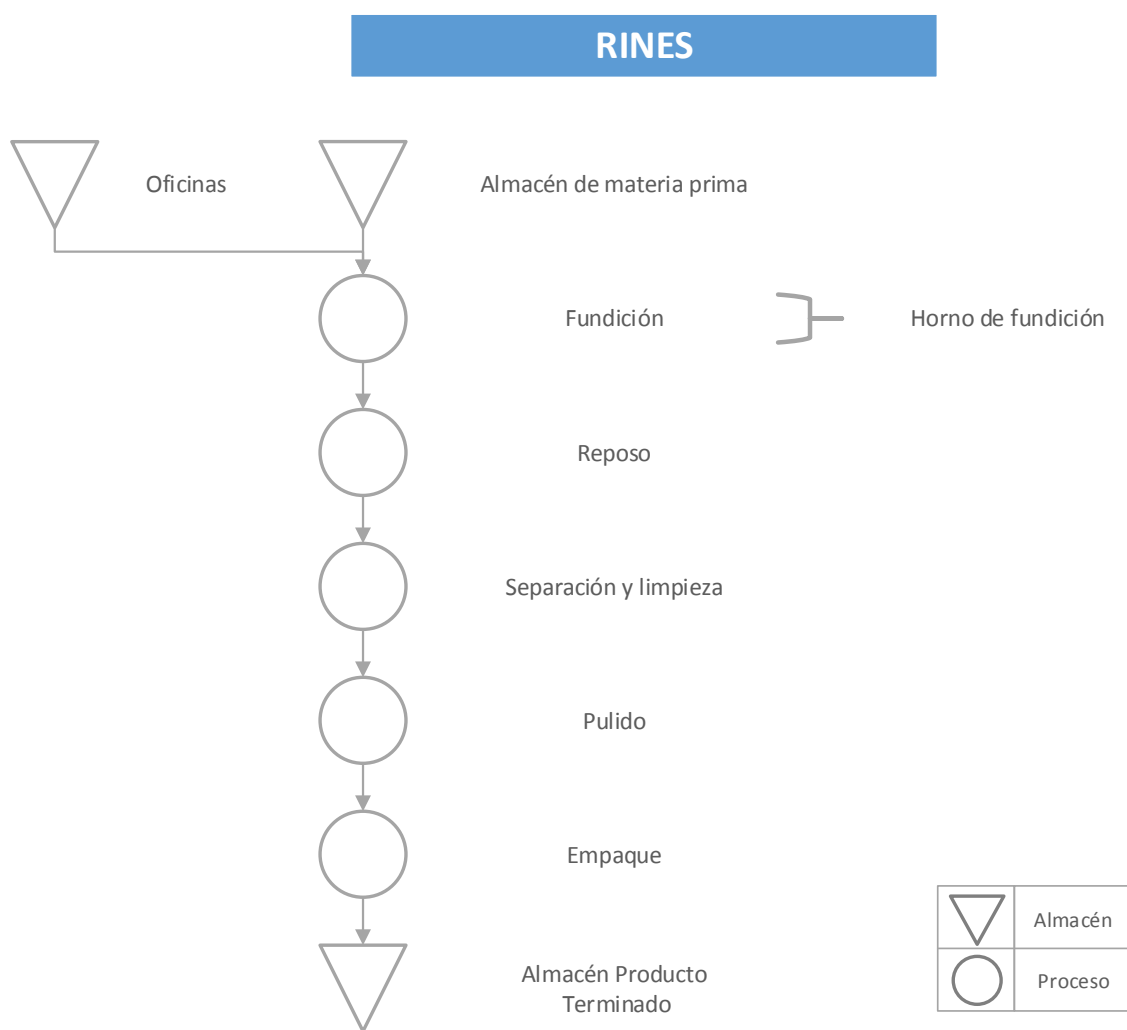


Figura 6. Diagrama de flujo rines, Fundición.

Fuente. Elaboración propia

Galvanizado y fosfatado. Este proceso se realiza con el fin de agregarle propiedades a los materiales y protegerlos de agentes externos, en esta área se utilizan elementos y sustancias de alto riesgo para los trabajadores.

Distribución actual

Dentro el proceso de análisis se identificó que la organización cuenta con una distribución con un enfoque por procesos, esta distribución se basa en la agrupación de los equipos de acuerdo a las actividades que se realiza, además este sistema se usa cuando existe una amplia gama de productos. Con la alta gerencia, se pudo constatar que debido a su crecimiento empírico se vio en la necesidad de emplazar los recursos en los espacios disponibles en el momento, afectando así su enfoque inicial de distribución.

La empresa actualmente dispone de un espacio de 533 m^2 la cual comprende diez áreas de trabajo distribuidas como se muestra en la figura 7, además, se podrán observar las siglas y colores que se manejaran para los departamentos durante el desarrollo del trabajo.

Dimensiones de los departamentos

Todos los departamentos dentro de la organización requieren un espacio para la ubicación de los elementos, equipos y operadores requeridos dentro de esta. Se lleva a cabo la identificación del espacio ocupado por cada una de las áreas dentro de la organización; A partir de esto, se realiza el cálculo de espacio bajo el método Guerchet mencionado en el marco conceptual, para así comparar los requerimientos reales de espacio en comparación con el actual ocupado por las áreas. En la Tabla 2 se evidencia que la superficie total calculada del requerimiento de espacio es mayor a la superficie actual ocupada.

En los anexos 7 al 17 se encuentran los listados de equipos que dispone cada departamento

	ALMACEN	AL
	OFICINAS	OF
	EMPAQUE	EM
	GALVANIZADO Y FOSFATADO	GF
	MECANIZADO	MC
	ESPUMAS (ES)	ES
	MANTENIMIENTO	MA
	VULCANIZADO	VU
	FUNDICION	FU
	METALISTERIA	MT

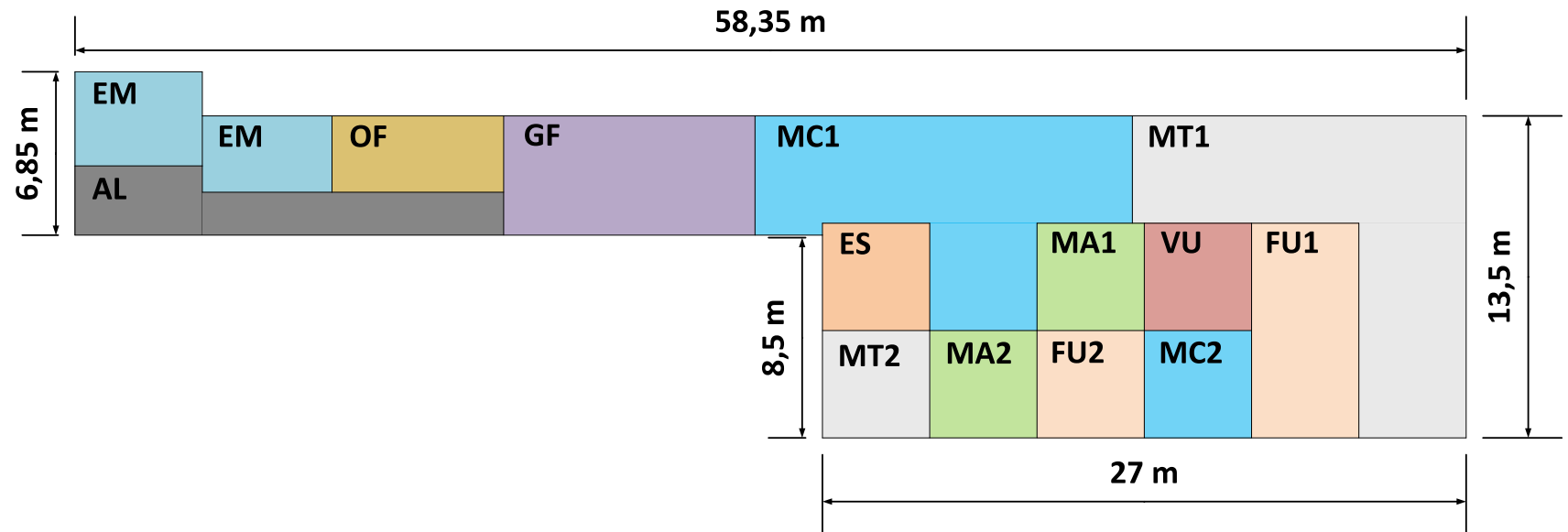


Figura 7. Plano distribución

Fuente. Elaboración propia

dentro de la organización y la identificación del espacio actualmente usado junto con el cálculo del espacio requerido por el método Guerchet para cada uno de estos.

Flujo entre departamentos

El flujo determina la relación que deben tener los departamentos y la secuencia que siguen los elementos desde su etapa inicial hasta el final del proceso de producción para cada una de las familias de productos, además, el flujo comprende la cantidad de unidades de productos que se movilizan dentro de la organización. En la figura 8 se puede apreciar los flujos de las familias de productos de mecanizado en azul, fundición en verde y metalistería en naranja. En la figura 9 se aprecia el flujo para vulcanizado en amarillo y espuma en morado.

Tabla 2. *Superficie calculada para los departamentos*

<u>Áreas</u>	<u>Superficie Total calculada (m^2)</u>	<u>Superficie actual (m^2)</u>
Galvanizado y Fosfatado	36,85	52,5
Vulcanizado	32,67	20,25
Fundición	62,10	60,75
Espuma	28,96	20,25
Metalistería	138,61	123,75
Mecanizado	170,96	114
Mantenimiento	42,96	40,5
Empaque	49,47	37,00
Almacén Corredor	81,50	41,50
Oficinas	38,18	22,50
TOTAL	682,26	533,00

Fuente. Elaboración propia

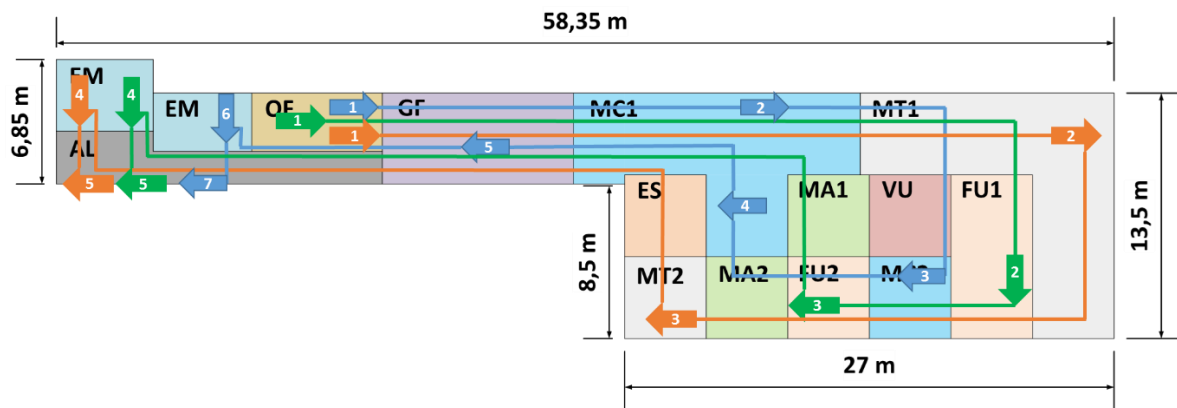


Figura 8. Flujos en el plano parte 1

Fuente. Elaboración propia

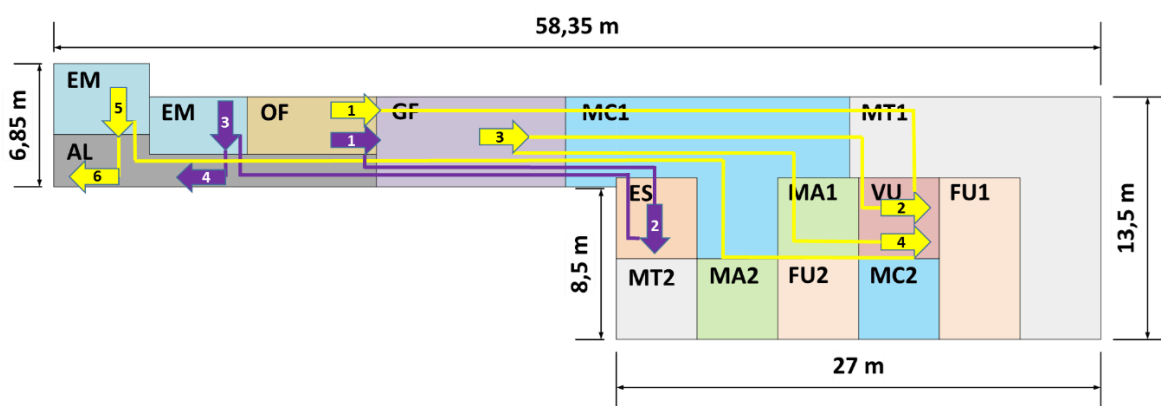


Figura 9. Flujos en el plano parte 2

Fuente. Elaboración propia

Cada uno de los flujos de las diferentes áreas comienza en oficinas donde se tienen insumos varios para cada uno de los procesos, además, cada área dispone de un almacén de materia prima interno para la elaboración de los productos.

Se evidencia en las figuras 8 y 9 el cruce entre los flujos de material de cada uno de las áreas; además, el contra flujo que se presenta para procesos como vulcanizado y el paso de todos los

procesos por el área de galvanizado y fosfatado que representa riesgo por ser el único acceso al área de producción tanto para el material como para los trabajadores.

Unidad de carga. La unidad de carga que maneja la organización varía según la familia de producto, y esta se mantiene constante en cada uno de los flujos. La organización usa como método de transporte canastas que son cargadas hasta cada una de las áreas por los trabajadores debido a que no disponen de un método de transporte más eficiente.

La unidad de carga establecida se obtuvo realizando un promedio de las unidades transportadas en cada viaje que realizaba el operario

En las tablas 3 al 7 se describe la secuencia del flujo por la que pasa cada familia de producto y su unidad de carga para cada uno de estos.

Tabla 3. *Secuencia flujo Mecanizado*

<u>Desde</u>	<u>Entra</u>	<u>Hasta</u>	<u>Equipo</u>	<u>Unidad de carga</u>
Oficina	Insumos varios	Mecanizado 1	Manual	Insumos varios
Mecanizado 1	Varilla en trozos	Mecanizado 2	Canasta	25
Mecanizado 2	Eje Estampado	Mecanizado 1	Canasta	25
Mecanizado 1	Eje Estampado y roscado	Galvanizado y fosfatado	Canasta	25
Galvanizado	Eje galvanizado	Empaque	Canasta	25
Empaque	Producto terminado	Almacén	Canasta	25

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4. *Secuencia de flujo metalistería*

<u>Desde</u>	<u>Entra</u>	<u>Hasta</u>	<u>Equipo</u>	<u>Unidad de carga</u>
Oficina	Insumos varios	Metalistería1	Manual	Insumos varios
	Patas laterales			
Metalistería 1	reforzadas sin pintura	Metalistería 2	Arnés de transporte	5
	Patas laterales			
Metalistería 2	pintadas	Empaque	Arnés de transporte	5
Empaque	Producto terminado	Almacén	Arnés de transporte	5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. *Secuencia de flujo fundición*

<u>Desde</u>	<u>Entra</u>	<u>Hasta</u>	<u>Equipo</u>	<u>Unidad de carga</u>
Oficina	Insumos varios	Fundición 1	Manual	Insumos varios
Fundición 1	Rines sin pulir	Fundición 2	Manual	2
Fundición 2	Rines pulidos	Empaque	Manual	2
Empaque	Producto terminado	Almacén	Manual	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6. *Secuencia de flujo vulcanizado*

<u>Desde</u>	<u>Entra</u>	<u>Hasta</u>	<u>Equipo</u>	<u>Unidad de carga</u>
Oficina	Insumos varios	Vulcanizado	Manual	Insumos varios
Vulcanizado	Tubos ajustados	Galvanizado y Fosfatado	Canasta	20
Galvanizado y Fosfatado	Tubos fosfatados	Vulcanizado	Canasta	20
Vulcanizado	Bujes encauchetados	Empaque	Canasta	20
Empaque	Producto terminado	Almacén	Canasta	20

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. *Secuencia de flujo espuma*

<u>Desde</u>	<u>Entra</u>	<u>Hasta</u>	<u>Equipo</u>	<u>Unidad de carga</u>
Oficina	Insumos varios	Espuma	Manual	Insumos varios
Espuma	Filtro de aire con guata	Empaque	Manual	6
Empaque	Producto terminado	Almacén	Manual	6

Fuente. Elaboración propia

Para identificar el número de flujos para cada familia de producto, se obtiene el resultado de la división del promedio de datos históricos del volumen de producción de las familias de producto Pareto sobre la unidad de carga para cada flujo como se observa en la tabla 8. Estos flujos serán usados para evaluar las propuestas en comparación con la distribución actual.

Tabla 8. *Unidades de carga*

<u>Familia de producto</u>	<u>Área</u>	<u>Producción</u>	<u>Unidad de carga</u>	<u>Flujo</u>
		<u>Mensual</u>		
Patas laterales reforzadas	Metalistería	979	5	196
Ejes	Mecanizado	4288	25	172
Bujes encauchetados	Vulcanizado	1323	20	66
Rines	Fundición	230	2	115
Filtros de aire con guata	Espuma	248	6	41
	<u>Total</u>	<u>7068</u>		

Fuente. Elaboración propia

Nuevo espacio disponible y descripción del área adquirida

La organización en su afán de ser más competitiva, con el transcurso de los años se expandió de manera desordenada implementando nuevas líneas de producción, además, aumentó la capacidad con nuevos equipos los cuales se ubicaron en los espacios disponibles que poseían en el momento. La empresa decide adquirir un terreno aledaño a la compañía para poder redistribuir los departamentos y áreas con los que cuenta la organización, en la figura 10, se puede apreciar el nuevo espacio disponible de la empresa.

Identificación de restricciones y necesidades de la empresa

La empresa comparte algunas necesidades de área, además de unas restricciones para tener en cuenta al momento de realizar la propuesta de redistribución de las instalaciones. La organización expresa la necesidad de cambiar las oficinas y el área de empaque a una parte puntual del espacio adquirido ya que este lugar cuenta con el espacio e infraestructura adecuada.

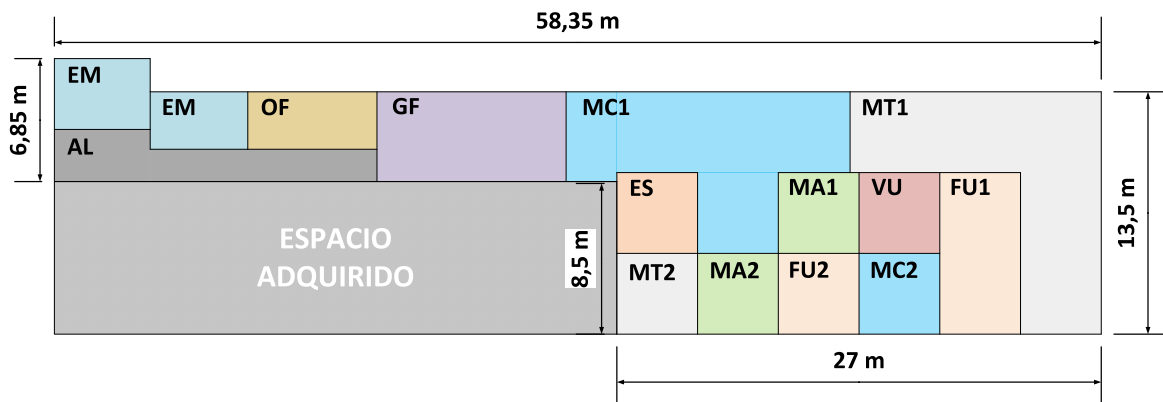


Figura 10. Plano con espacio adquirido

Fuente. Elaboración propia

para estas; además la organización se proyecta en abrir un punto de venta directo en este nuevo espacio.

El área de mecanizado y vulcanizado cuentan con procesos que involucran actividades de Galvanizado y Fosfatado, estas, representan un alto riesgo para los trabajadores debido a los insumos químicos y elementos involucrados en el proceso, por lo tanto, este proceso debe estar en una posición donde no se los comprometa, un área donde no sea corredor de entrada y salida como se presenta en la situación actual de la organización; por esto, se separa galvanizado y fosfatado de sus respectivas áreas y se establece como un sola área y se debe mantener la mayor distancia posible de los sitios con mayor flujo de personas.

También debe tenerse en cuenta el emplazamiento actual del área de fundición, sus hornos se encuentran enterrados y el costo de movilizar esta área por sus especificaciones y requerimientos es demasiado alto. Las operaciones propias de una fundición generan riesgos para los trabajadores y la operación de la organización. Por lo tanto, en la propuesta de redistribución se tratará como una restricción.

Métodos para generar la propuesta de distribución

La distribución en planta es la ciencia que se encarga de ubicar espacialmente todo aquello que compone una organización, para dar solución al FLP se han desarrollado múltiples métodos, entre ellos se tienen los métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos como se mencionan en el marco conceptual.

De acuerdo a la revisión de la literatura realizada de los métodos heurísticos y meta heurísticos, se aprecia que metodologías son más usadas para la solución del FLP. En los antecedentes se enuncian algunos de los estudios por los cuales se escogieron los métodos para generar las propuestas a este caso.

Tabla 9. *Matriz de comparación de métodos.*

	<u>Facilidad de Uso</u>	<u>Heurísticos</u>		<u>Apoyado por Software</u>	<u>Adaptacion</u>	<u>Favoritismo de aplicación</u>
		<u>Cuantitativo</u>	<u>Cualitativo</u>			
<u>Aldep</u>	x		x	x		
<u>Corelap</u>	x		x	x		
<u>Craft</u>	x	x		x	x	x
<u>SLP</u>	x	x	x		x	x
<u>Metaheurísticos</u>						
<u>Algoritmos Geneticos</u>	x	x		x	x	x
<u>Colonia de Hormigas</u>		x		x	x	
<u>Recocido Simulado</u>		x		x	x	
<u>Busqueda Tabú</u>	x	x		x	x	x
<u>Enjambre de Particulas</u>		x		x		

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la revisión de la literatura se pudo plasmar en una matriz comparativa características de los métodos para definir cuales se usarán en la construcción de las propuestas (Tabla 9). Dentro de estas características se encuentra la facilidad de uso del método, si son

cualitativos o cuantitativos, si la aplicación del mismo requiere o se apoya en el uso de software ya sea para facilitar el proceso de generación de las propuestas o que sea necesario para su ejecución; además, se tuvo en cuenta la adaptación en la aplicación de los métodos sobre la particularidad de los casos estudiados en la literatura. Se evaluó cuáles son los favoritos dentro de la literatura, es decir, cuáles son los más aplicados o investigados de acuerdo a la cantidad de estudios encontrados. Para los heurísticos tenemos como alternativas el método Craft y la metodología SLP, y para los metaheurísticos, tenemos el Algoritmo Genético y Búsqueda Tabú. Se decide usar el SLP apoyado en Pérez et al, (2008) que concluyen después de realizar una revisión de la bibliografía sobre las metodologías para dar solución a los problemas de distribución en planta, que el SLP ha sido la metodología más aceptada y comúnmente utilizada para dar solución al problema de distribución en planta usando criterios cualitativos.

“El SLP reúne las ventajas de las aproximaciones metodológicas precedentes e incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución, organizando el proceso de planificación total de manera racional y estableciendo una serie de fases y técnicas que permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos.” (Perez, P et al. 2008)

En cuanto al método metaheurístico, se elige al Algoritmo genético (AG), debido a que es un método adaptativo que puede usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización, el poder de este método proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas. El gran campo de aplicación para los AG se relaciona con problemas para los cuales no existen técnicas especializadas, incluso en el caso en que dichas técnicas no existan.

A continuación, se presentan las metodologías que se usaran para dar solución al FLP, los cuales son el Systematic Layout Planning o SLP por sus siglas en ingles junto con el método meta heurístico Algoritmos Genéticos (AG) los cuales fueron escogidos en base al estudio realizado de la literatura.

Para la realización de las propuestas de distribución de la organización, se llevará a cabo el proceso de construcción de ellas bajo los criterios de restricciones y necesidades de la organización, mencionados anteriormente.

SLP (Systematic Layout Planning)

El SLP es una metodología de distribución en planta desarrollado por Muther en los años 60, el cual es un procedimiento sistemático multicriterio, en donde se tienen en cuenta los flujos de materiales y la importancia de la cercanía con otras áreas.

Esta metodología ha sido la más aceptada y comúnmente utilizada para dar solución al FLP, en la figura 11 se encuentra el procedimiento para realizar el SLP.

Descripción general de la metodología SLP. Se debe realizar una serie de pasos para realizar el SLP, en donde el primero de estos es: Analizar la producción y las cantidades que se fabrican, con esto se podrá determinar el tipo de distribución que debe realizarse. Para el segundo paso, se debe identificar el flujo de producción por el cual pasan los productos. Para el tercer paso, se debe realizar análisis de las relaciones de actividades, esto se realiza para identificar las necesidades de cercanía entre las áreas. Este análisis de relaciones se apoya en la información de

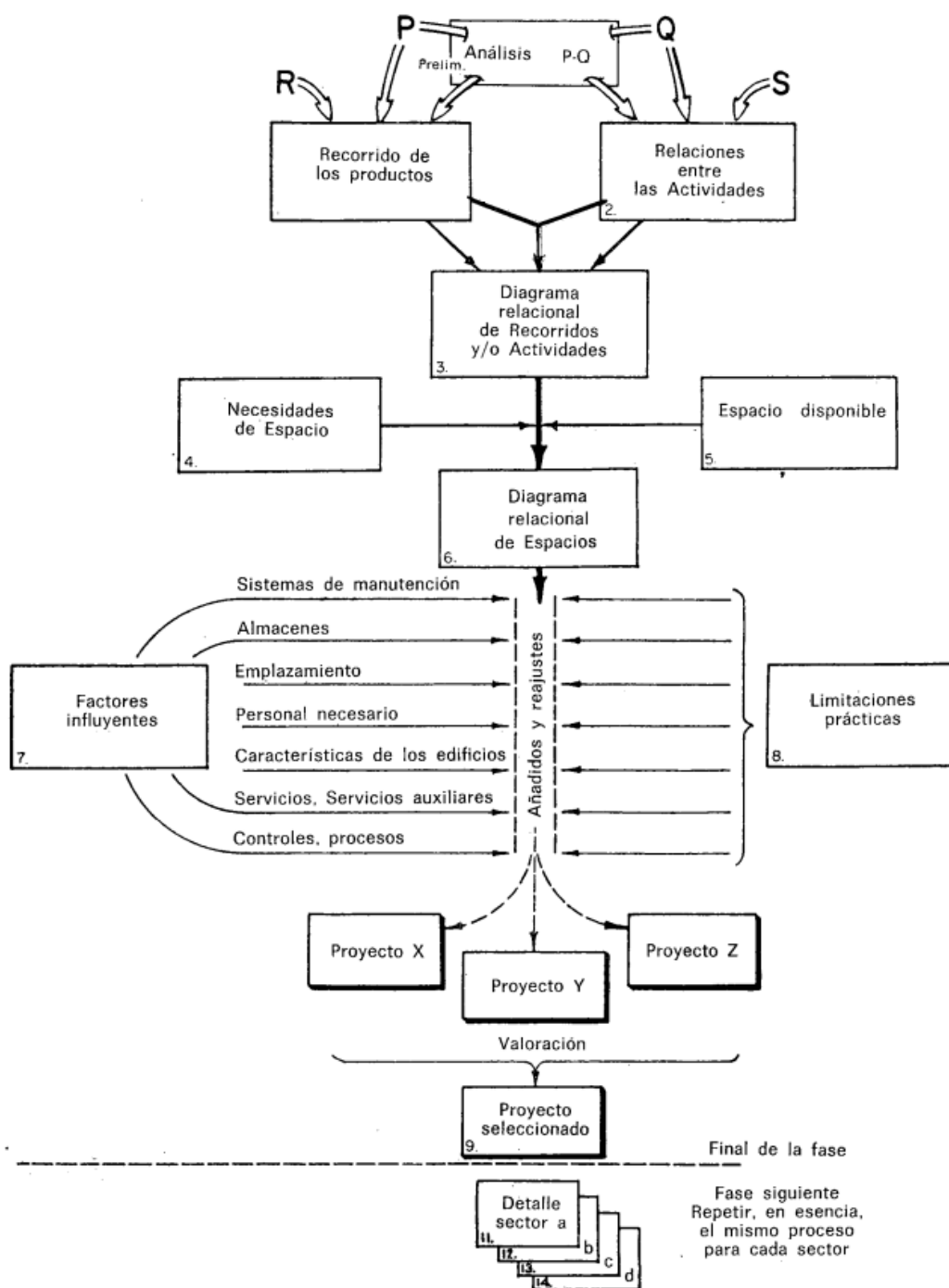


Figura 11. Proceso racional para preparar el planteamiento SLP. Muther, R. Planificación y proyección de la empresa industrial. p. 28.

flujo y motivos específicos de cada caso; de acuerdo a este análisis, se desarrolla una matriz de relaciones donde se asigna una letra dependiendo el tipo de relación de cercanía entre pares de acuerdo a la tabla 10.

Tabla 10. *Códigos de prioridad*

<u>Código</u>	<u>Prioridad</u>	<u>Valor</u>
A	Altamente necesaria	4
E	Especialmente necesaria	3
I	Importante necesaria	2
O	Ordinaria necesaria	1
U	Ninguna	0
X	Indeseable	-1

Fuente. Elaboración propia

La asignación de cada letra se da de acuerdo a la prioridad que tenga la relación de un área sobre otra; además, como menciona Perez, P., Dieguez, E. y Gomez, O. (2008, Pag. 10), es necesario considerar las exigencias del caso como pueden ser aspectos ambientales, de seguridad, higiene, manipulación, abastecimiento, entre otras, que resulten de vital importancia para integrar y definir la relación entre áreas. Los motivos de relación o proximidad son específicos de cada caso, quedan a criterio de la persona que lleve a cabo el estudio y se usan los que se consideren necesarios siempre y cuando se presenten relacionados en una tabla con sus respectivos códigos (Ejemplo Tabla 11). Teniendo los motivos de proximidad y la relación de prioridad de las áreas, se genera un diagrama de relación de actividades como se muestra en la Figura 12.

Tabla 11. *Motivos de proximidad*

<u>Código</u>	<u>Motivos de proximidad</u>
1	Flujo
2	Comparten equipos
3	Riesgos físicos y químicos
4	Control y Supervisión
5	Operaciones de Mantenimiento

Fuente. Elaboración propia

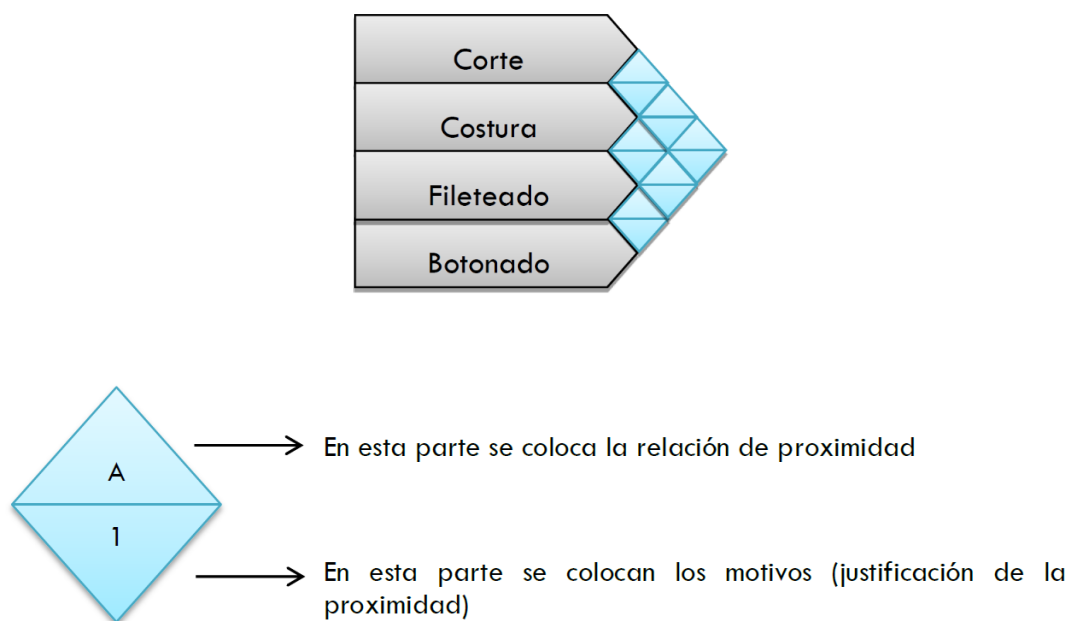


Figura 12. Diagrama de relación de actividades. Bravo, D., y Sánchez, C. (2011).

“Distribución en planta” p. 24.

Para el cuarto paso, se realiza el diagrama de relaciones de actividades, el cual es un diagrama simple donde se representan nodos unidos por líneas dependiendo de su relación (Ejemplo Figura 13). El quinto paso analiza las necesidades y disponibilidad de espacios, aquí, es donde se

asigna las áreas requeridas para cada una de las actividades. El siguiente paso es realizar el diagrama relacional de espacios, en este se tiene en cuenta el área asignada. Después de este se construyen diferentes propuestas teniendo en cuenta todos los factores antes mencionados. Por último, se evalúan las propuestas de distribución mediante el cálculo de la eficacia de cada una y así seleccionar la mejor de estas; la eficacia evalúa la relación entre áreas de acuerdo a la distancia entre las mismas, cabe aclarar que un menor valor de la eficacia indica un mayor cumplimiento de las relaciones debido a qué, para las áreas con mayor prioridad de cercanía se busca que la distancia entre las mismas sea la menor posible. Para las áreas con cercanía indeseable, se desea que estén distantes, por lo tanto, el producto entre el valor del código para la relación X (indeseable) de la tabla 10 y la distancia, disminuirá el valor de la eficacia.

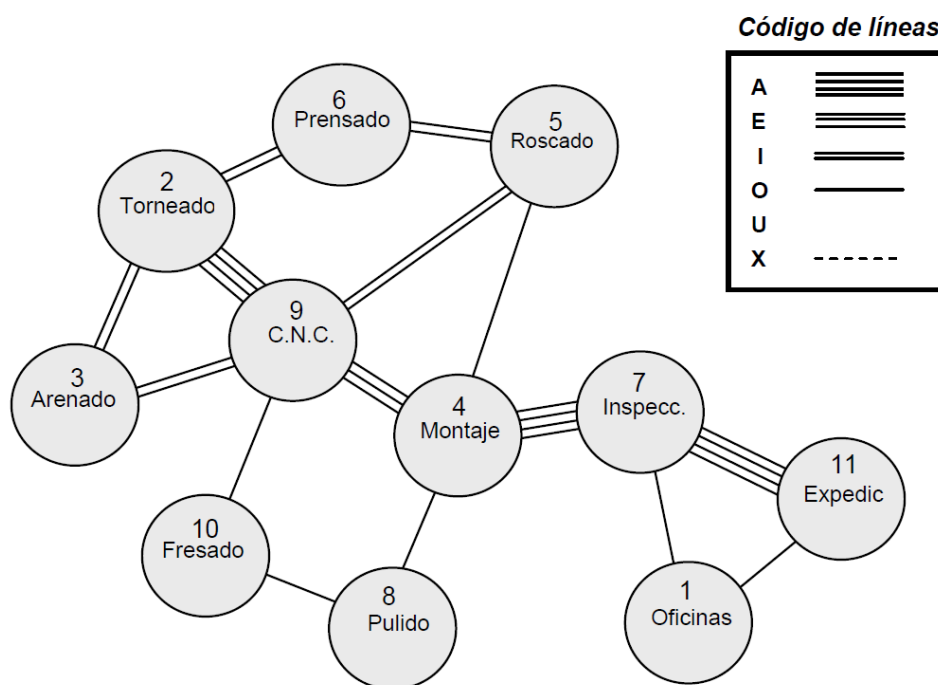


Figura 13. Diagrama relacional de actividades en industria sideromecánica. Perez, P. et al.

(2008) “Metodología para la resolución de problemas de distribución de planta”. p.12

Algoritmos genéticos (AG)

Los algoritmos genéticos (AG) es un método metaheurístico que según Brindle (1980) son procedimientos de búsqueda adaptativas que simulan algunos de los procesos de evolución natural. Carrión (2003) en su trabajo de grado, argumenta que los AG son una técnica de búsqueda aleatoria directa basadas en la evolución de las criaturas vivientes propuesta por Holland (1975) en su libro *adaptation to natural and artificial systems* (University of Michigan press).

“Esta metodología puede encontrar una solución óptima global explorando el espacio de solución inteligentemente usando conceptos tomados de la genética natural y la teoría de la evolución” (Mak, K., Wong, Y., y Chang, T., 1998. P. 3)

Mak et al. (1998) mencionan en su artículo que los algoritmos genéticos han demostrado una efectividad en diferentes campos teóricos y empíricos, incluso en casos no lineales y multiobjetivo.

Martínez, S., Bernal, J., y Sánchez, J, (2010) argumentan que los algoritmos genéticos se han empleado en resolver problemas de búsqueda y optimización en áreas como: inteligencia artificial, diseño de materiales, problemas multicriterio, optimización de distribución y producción, entre otros.

Descripción general de la metodología del algoritmo genético. El comportamiento del algoritmo genético está compuesto por una serie de pasos que busca replicar la teoría de la evolución que inicia en un conjunto de posibles soluciones las cuales son determinadas como población inicial; dentro de la cual, se seleccionan los mejores individuos los cuales se denominaran “Padres”. Estos últimos, proceden a aparearse generando cruces entre ellos,

generando así, nuevos individuos denominados “hijos”. Dentro de este proceso se presentan mutaciones con el propósito de contribuir a la diversidad dentro del proceso.

Los hijos resultantes de esta generación serán los próximos padres para la siguiente generación, repitiéndose este proceso hasta cumplir con un criterio de parada. Este proceso se muestra en la figura 14.

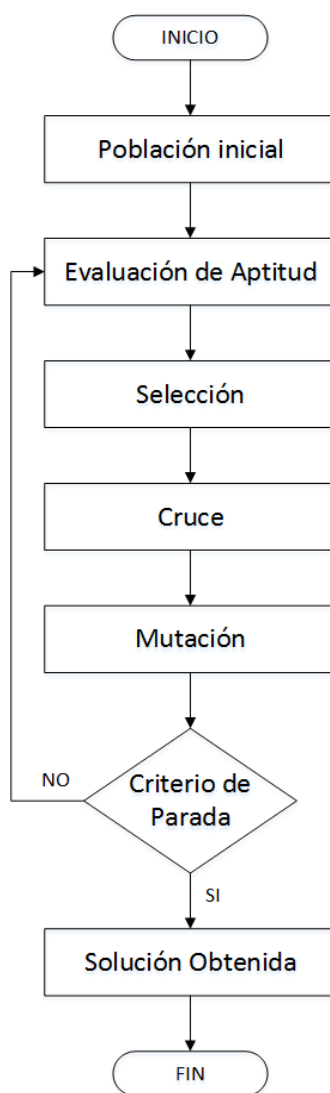


Figura 14. Diagrama de flujo para el proceso de algoritmo genético

Fuente. Elaboración propia

Población inicial. Para iniciar con la metodología se debe generar una población inicial la cual es un conjunto de soluciones posibles halladas de manera aleatoria, cada individuo dentro de la población inicial se conoce como cromosoma, cada uno de estos están codificados en una cadena simbólica. (Mak et al. 1998). Para el caso de distribución en planta, la cadena está compuesta de manera secuencial por los códigos asignados a cada una de las áreas como se aprecia en la figura 15. El tamaño de la población inicial está definida por el investigador.

a)

2	4	3	1	5	6	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---

b)

2	4	3	1
7	8	6	5

Figura 15. a) ejemplo cromosoma. b) esquema de la distribución

Evaluación de aptitud. El proceso de evolución dentro de la metodología evalúa cada uno de los cromosomas con el fin de determinar los cromosomas más fuertes. Este proceso de evaluación se lleva a cabo mediante una función de aptitud o fitness que se determina de acuerdo a la particularidad de cada caso. En la distribución en planta generalmente se evalúa cada cromosoma en base al costo de transporte de materiales entre cada una de las áreas.

Selección. De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de la evaluación de aptitud de acuerdo a la función de aptitud o fitness, se seleccionan aquellos cromosomas más fuertes siendo los mejores padres. Carrion (2003), enuncia las diferentes técnicas de selección que se presenta en el algoritmo genético:

Selección directa. Es aquella que toma elementos de la población de acuerdo a criterio que se define.

Selección aleatoria. Está basada en probabilidades de la cual se desprenden tres tipos: por sorteo, por ruleta y por torneo (elitismo). La selección por sorteo se lleva a cabo asignando un parámetro de selección a los cromosomas de acuerdo a la adaptación con respecto a la función objetivo, en donde se escoge al azar un número entre 0 y 1, seleccionando el cromosoma que en su rango tenga el número escogido. La selección por ruleta se realiza de acuerdo a un rasgo de las características de la selección por sorteo, el individuo seleccionado es aquel en cuyo rango esté el número resultante más la suma del número anterior. La selección por torneo consta en seleccionar un subconjunto a partir de cualquiera de las técnicas anteriores y de ahí seleccionar el más adecuado por técnicas determinísticas, esta técnica es conocida como elitismo debido a que los individuos con una adaptación buena nunca mueren

Cruce. Es el proceso de crear un nuevo cromosoma a partir de dos padres que se seleccionan de manera aleatoria, la operación de cruce transfiere una porción de códigos genéticos de un cromosoma a otro (Mak et al,1998). Carrión (2003) menciona que existen varios tipos de cruce entre los que se encuentran:

Cruce básico. Se selecciona aleatoriamente un punto en la cadena de los cromosomas y esta parte se transfiere entre padre y madre.

Cruce multipunto. Es igualo al anterior, pero se toma más de un punto de cruce

Cruce uniforme. Para cada uno de los integrantes de la cadena de cada cromosoma, existe una probabilidad de que pertenezca a uno de los dos padres

Cruce por permutación. Dentro de este cruce se pueden encontrar tres tipos diferentes los cuales son, cruce por mreamiento parcial, cruce por orden y cruce de ciclo

Mutación. Una mutación es la variación de la información que contiene el código genético, esta variación en un ser vivo produce cambios en las características del mismo. En los algoritmos genéticos, estos cambios se producen por factores externos al mismo; dentro de este se usa la mutación para reorganizar la estructura de un cromosoma aleatoriamente y siempre está definida por una probabilidad de mutación y por lo general este valor es bajo (Mak et al,1998)

Collazos (2013) argumenta que la mutación se utiliza para evitar que el algoritmo converja a un óptimo local, esto sucede después de varias generaciones, cuando la población tiende a ser homogénea.

La mutación que se lleva a cabo en los casos de distribución de planta es realizada por permutación, ya que, para estos casos, no debe repetirse las áreas o departamentos objeto de estudio

Criterio de Parada. El criterio de parada se define bajo dos condiciones: ya sea bajo un número máximo de iteraciones o cuando no hay cambios en la población (es decir, cuando la evaluación de aptitud de todos los cromosomas converge a un mismo valor). Esto lo define el investigador.

Para cada uno de los cromosomas se debe evaluar su distribución, para esto, se tienen en cuenta las SFC (curvas de llenado) que consisten en establecer la secuencia del recorrido por el cual se distribuirán los departamentos dentro del espacio disponible (Contreras, 2010). En la figura 16 se muestran dos tipos de SFC. Para la construcción de las distribuciones se debe definir el ancho de las bandas bajo el criterio del investigador.

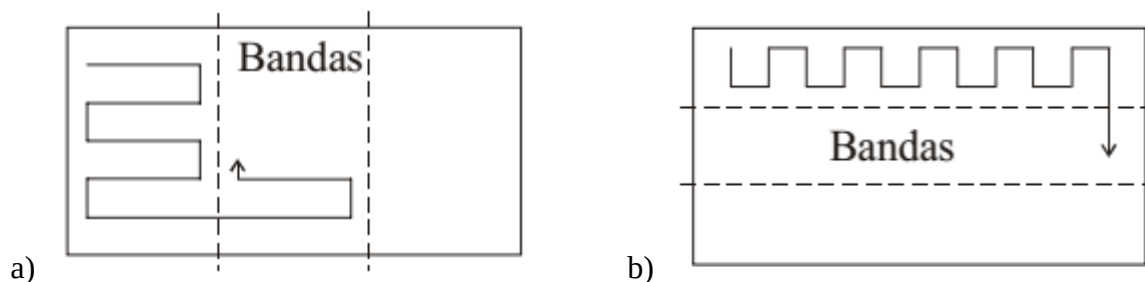


Figura 16. a) Curvas de llenado con oscilación vertical. b) curvas de llenado con oscilación horizontal. Dominguez C,. De los Ríos, G,. Velazques, J. “Distribucion de espacios en plantas industriales usando busqueda tabú” P 4.

Aplicación de los métodos para la construcción de las propuestas

SLP

Evaluación del estado actual. Para el desarrollo del SLP como se aprecia en la figura 11, se debe realizar primeramente una matriz de relaciones que se plantea teniendo en cuenta las sugerencias y restricciones manifestadas por la organización, además de los flujos entre departamentos y áreas identificados anteriormente. Se plantean las tablas 12, 13 de motivos de proximidad y códigos de prioridad de acuerdo a los puntos planteados por la organización y el volumen de flujo de cada proceso logrando identificar el tipo de relación que se presenta.

Los motivos de proximidad se establecen de acuerdo a lo observado durante la etapa de recolección de información, las necesidades expresadas por la organización, restricciones visibles y el volumen de los flujos que circulan entre áreas y departamentos.

Tabla 12. *Motivos de proximidad para el caso*

<u>Código</u>	<u>Motivos de proximidad</u>
1	Flujo
2	Comparten equipos
3	Riesgos físicos y químicos
4	Control y Supervisión
5	Operaciones de Mantenimiento

Fuente. Elaboración propia

Tabla 13. *Códigos de prioridad para el caso*

<u>Código</u>	<u>Prioridad</u>	<u>Valor</u>
A	Altamente necesaria	4
E	Especialmente necesaria	3
I	Importante necesaria	2
O	Ordinaria necesaria	1
U	Ninguna	0
X	Indeseable	-1

Fuente. Elaboración propia

Ya definida la escala se realiza la matriz de relación entre áreas para el estado actual mostrado en la figura 17; el llenado se hace con base en la figura 12 y se desarrolla con los códigos de las tablas 12 y 13. Esta matriz se usará para evaluar el estado actual, y así, tener un punto de comparación al generar las propuestas. Se evidencia que las áreas que corresponden al mismo

De acuerdo al área ocupada actualmente, para realizar el proceso del SLP y poder evaluar la distribución actual mediante la eficacia, se divide el área en cuadrículas de 0.5x0.5 metros como se muestra en la figura 18, esta ayudará al cálculo de la distancia rectangular (en cuadrículas) entre áreas.

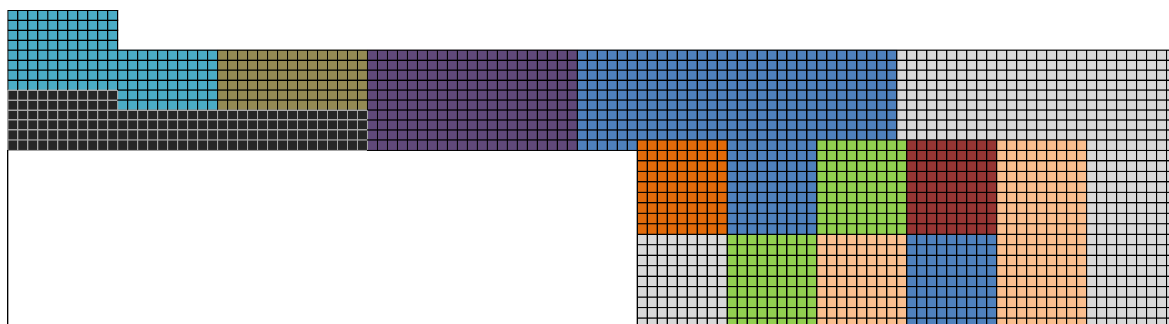


Figura 18. Plano distribución actual

Fuente. Elaboración propia

Se realiza la matriz de relación con los valores correspondiente a los códigos de prioridad, ver tabla 14. Seguido a esto se halla la distancia rectilínea en cuadrículas entre áreas mostrado en la tabla 15; cabe aclarar que esta distancia es el número de cuadrículas entre áreas del recorrido más cercano, por lo tanto, para las áreas contiguas la distancia será igual a cero puesto que no hay cuadrículas entre las mismas. Finalmente se realiza el producto entre los dos valores anteriores, sumando estos se obtiene la eficacia de la distribución (ver tabla 16) para la situación actual se tiene una eficacia 1047puntos.

Tabla 14. *Matriz valor prioridad con valores**Matriz valor prioridad con valores*

DEPARTAMENTOS	OF	MC1	MC2	GF	MT1	MT2	FU1	FU2	VU	ES	EM	AL	MA1	MA2
OFICINAS (OF)	-	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
MECANIZADO 1 (MC1)		-	4	4	0	0	-1	-1	0	0	0	0	2	0
MECANIZADO 2 (MC2)			-	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	0
GALVANIZADO Y FOSFATADO (GF)				-	-1	-1	-1	-1	2	-1	4	0	1	0
METALISTERIA 1 (MT1)					-	4	-1	-1	1	0	0	0	1	0
METALISTERIA 2 (MT2)						-	-1	-1	0	0	4	0	1	0
FUNDICION 1 (FU1)							-	4	-1	-1	0	0	1	0
FUNDICION 2 (FU2)								-	-1	-1	3	0	1	0
VULCANIZADO (VU)									-	0	2	0	1	0
ESPUMAS (ES)										-	1	0	1	0
EMPAQUE (EM)											-	4	0	0
ALMACEN (AL)												-	0	0
MANTENIMIENTO 1 (MA1)													-	4
MANTENIMIENTO 2 (MA2)														-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15. *Distancias en cuadrículas**Distancias en cuadrículas*

DEPARTAMENTOS	OF	MC1	MC2	GF	MT1	MT2	FU1	FU2	VU	ES	EM	AL	MA1	MA2
OFICINAS (OF)	-	21	67	0	53	36	67	58	58	31	0	0	49	1
MECANIZADO 1 (MC1)		-	10	0	0	1	18	1	9	0	36	21	0	0
MECANIZADO 2 (MC2)			-	42	9	18	0	0	0	19	82	63	1	9
GALVANIZADO Y FOSFATADO (GF)				-	32	15	42	33	33	6	15	0	24	24
METALISTERIA 1 (MT1)					-	27	0	9	0	18	68	53	0	18
METALISTERIA 2 (MT2)						-	27	9	19	0	55	36	10	0
FUNDICION 1 (FU1)							-	9	0	27	82	63	9	18
FUNDICION 2 (FU2)								-	1	10	73	54	0	0
VULCANIZADO (VU)									-	18	73	54	0	10
ESPUMAS (ES)										-	46	27	9	1
EMPAQUE (EM)											-	0	64	64
ALMACEN (AL)												-	45	45
MANTENIMIENTO 1 (MA1)													-	1
MANTENIMIENTO 2 (MA2)														-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16. *Eficacia*

<i>Eficacia</i>															
DEPARTAMENTOS	OF	MC1	MC2	GF	MT1	MT2	FU1	FU2	VU	ES	EM	AL	MA1	MA2	
OFICINAS (OF)	-	21	0	0	53	0	67	0	58	31	0	0	49	0	279
MECANIZADO 1 (MC1)		-	40	0	0	0	-18	-1	0	0	0	0	0	0	21
MECANIZADO 2 (MC2)			-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
GALVANIZADO Y FOSFATADO (GF)				-	-32	-15	-42	-33	66	-6	60	0	24	0	22
METALISTERIA 1 (MT1)					-	108	0	-9	0	0	0	0	0	0	99
METALISTERIA 2 (MT2)						-	-27	-9	0	0	220	0	10	0	194
FUNDICION 1 (FU1)							-	36	0	-27	0	0	9	0	18
FUNDICION 2 (FU2)								-	-1	-10	219	0	0	0	208
VULCANIZADO (VU)									-	0	146	0	0	0	146
ESPUMAS (ES)										-	46	0	9	0	55
EMPAQUE (EM)											-	0	0	0	0
ALMACEN (AL)												-	0	0	0
MANTENIMIENTO 1 (MA1)													-	4	4
MANTENIMIENTO 2 (MA2)														-	0
															EFICACIA
															1047

Fuente. Elaboración propia

Construcción de propuestas. Para la construcción de las propuestas, de acuerdo a lo mencionado en el apartado anterior, se realiza una nueva matriz de relación de actividades donde se unifican las áreas del mismo proceso que se encuentran separadas como se muestra en la figura 19. Con este diagrama, se procede a realizar el proceso de construcción de las propuestas siguiendo el proceso SLP.

De acuerdo a esta matriz de relación de actividades se realiza el diagrama relacional de actividades o conocido como “Diagrama de Hilos”, esto con el objetivo de apoyar el proceso de construcción de las propuestas en base a la relación entre áreas. Ver figura 20

En base al diagrama relacional de actividades se lleva a cabo la generación de diferentes propuestas construyendo el esquema de acuerdo al espacio requerido por cada una de las áreas dentro del plano dividido en cuadrículas, es decir, se realiza el llenado del espacio disponible de acuerdo a la cantidad de cuadrículas (área) requeridas por cada una de ellas con base a las relaciones existentes entre las áreas y que se identifican en los diagramas anteriores.

Después de esto, se realiza la evaluación de cada una de las propuestas obteniendo como resultado para las dos mejores propuestas una eficacia de 368 y 434 como se relaciona en la tabla 17. Los cálculos para cada una de estas propuestas se pueden encontrar en los anexos 18 al 22. El esquema resultante de las dos propuestas se muestra en la figura 21 y 22.

Tabla 17. *Eficacia de las propuestas*

	Eficacia
Propuesta 1	368
Propuesta 2	434

Fuente. Elaboración propia

Algoritmo genético

Para el desarrollo del método del algoritmo genético se seguirá la secuencia mostrada anteriormente en la figura 14. Para desarrollar las propuestas de este caso, se realiza un algoritmo básico tomando como base el modelo propuesto por Mak et al. (1998).

Para el desarrollo de este método se realizó un esquema de la distribución teniendo en cuenta las restricciones y necesidades de la organización obteniendo como resultado un esquema de tres partes basado en la mejor propuesta hallada por el método SLP donde en la primera parte quedan los departamentos de almacén, empaque y oficinas como lo requiere la organización, la segunda tiene los departamentos disponibles a distribuir y en la última se encuentra el departamento de fundición el cual es una restricción debido a que su emplazamiento no permite ser reubicado como se ha expresado anteriormente, el esquema se puede apreciar en la figura 23.

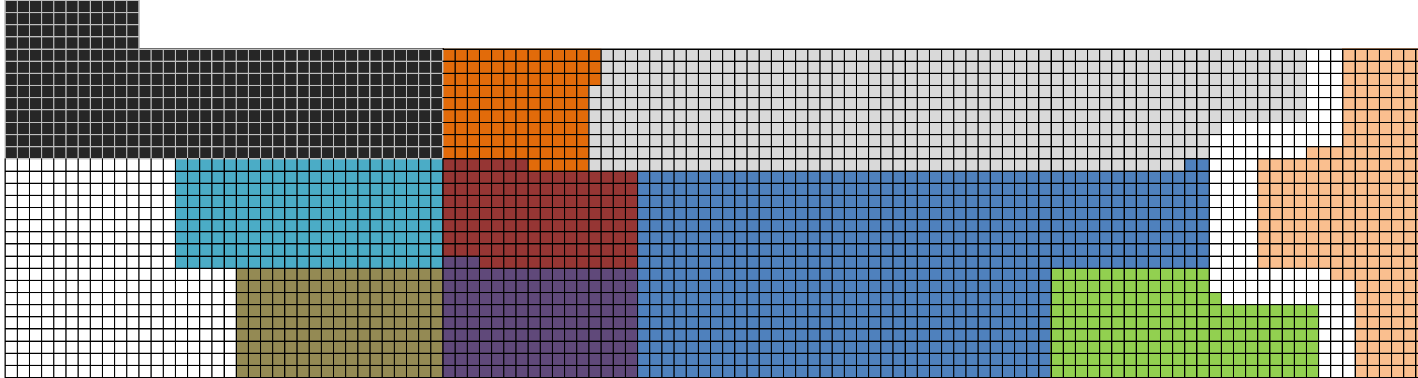


Figura 21. Plano propuesta de distribución 1

Fuente. Elaboración propia

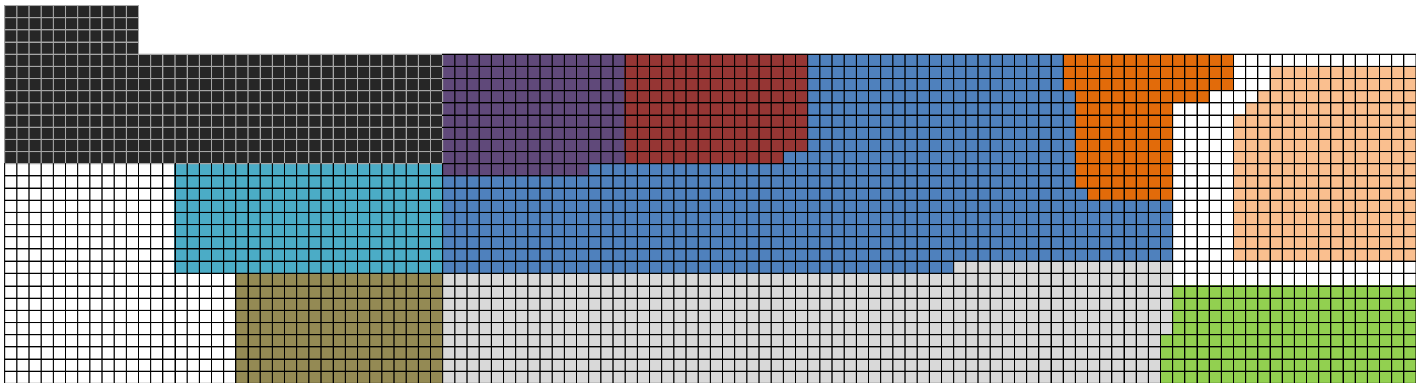


Figura 22. Plano propuesta de distribución 2

Fuente. Elaboración propi

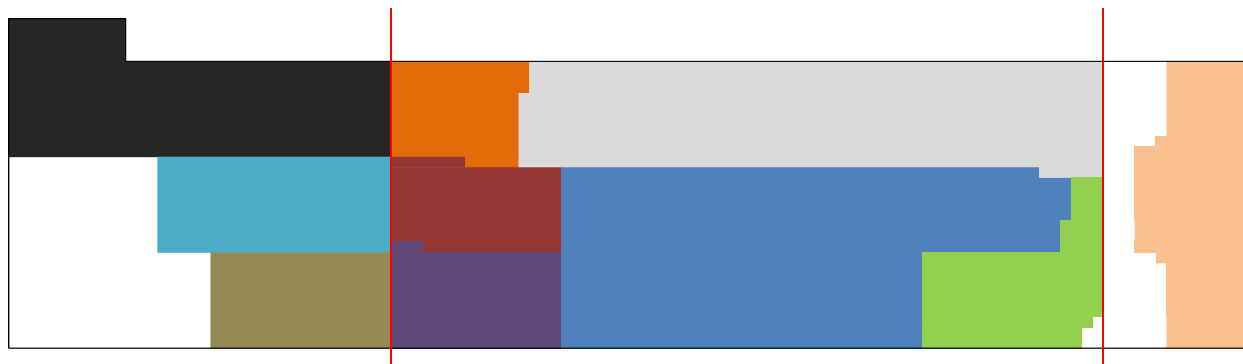


Figura 23. Esquema de distribución dividido.

Fuente. Elaboración propia

Este esquema se realizó para facilitar la asignación de espacio a los departamentos que no poseen ninguna restricción y para facilitar el proceso de operación del algoritmo debido a que estos departamentos son los que se pueden reubicar y son los que conforman cada cromosoma. Para evaluar la función de aptitud tuvieron en cuenta todos los departamentos ya que esta opera con los flujos entre áreas.

Población inicial. Para iniciar el proceso de solución para el algoritmo genético, se realiza la codificación de los departamentos a distribuir con números del uno al seis como se muestra en la tabla 18

Como paso siguiente a la codificación, se procede a generar de manera aleatoria una población inicial de doce cromosomas (Tabla 19), estos, esquematizan distribuciones aleatorias con las cuales se iniciará el proceso operación del algoritmo genético. La población inicial se genera con ayuda de una macro en Excel que genera números aleatorios sin que se repitan dentro de un mismo cromosoma.

Tabla 18. *Codificación de departamentos*

<u>Departamentos</u>	<u>Codificación</u>
Oficina	-
Mecanizado	1
Galvanizado y fosfatado	2
Metalistería	3
Fundición	-
Vulcanizado	4
Espumas	5
Empaque	-
Almacén	-
Mantenimiento	6

Fuente. Elaboración propia

Evaluación de aptitud. Para evaluar la aptitud de la población inicial, como se evidencia en la mayoría de los casos de distribución en planta, se evalúa como función objetivo el costo de transporte de materiales (Ecuación 7); función que se alimenta de una matriz de flujo, de la distancia entre departamentos para cada cromosoma y costo unitario de transporte entre cada par de departamentos, costo que, para este caso, se tomara como \$1 dado que el costo de transporte de materiales es igual para todos los departamentos en la organización. Para el cálculo de este valor para cada uno de los cromosomas, se usa como base una macro en Excel desarrollada por Jensen, P. (2004), en la cual se introducen las áreas y calcula la función del costo de transporte de materiales mostrada en la ecuación 7.

Tabla 19. *Población inicial de cromosomas*

6	2	3	4	1	5
2	6	5	4	3	1
2	4	3	1	5	6
3	5	2	1	6	4
6	5	1	3	4	2
1	2	4	3	6	5
3	6	1	5	4	2
4	2	6	3	5	1
2	3	5	4	6	1
1	4	3	5	6	2
6	5	4	1	2	3
4	2	1	5	6	3

Fuente. Elaboración propia

Ecuación 7. Función objetivo Costo de transporte

$$\text{Costo de transporte} = \sum \sum f_{ij} * d_{ij} * c_{ij}$$

$f_{ij} \rightarrow$ Flujo de material del departamento i al departamento j .

$d_{ij} \rightarrow$ Distancia rectangular entre los centroides de los departamentos i y j .

$c_{ij} \rightarrow$ Costo unitario de transporte entre el departamento i al j .

Después de tener el costo de transporte entre de departamentos, se evalúa la función fitness que según el modelo de Mak et al. (1998) se define como el inverso del costo de transporte de materiales (Ecuación 8), generando que dentro del algoritmo se deba maximizar el valor de la función de aptitud o fitness (Collazos, C. 2013).

Ecuación 8. Función de aptitud o Fitness

$$Fitness_i = \frac{1}{Costo\ de\ transporte_i} = \varphi_i$$

Después de evaluar cada uno de los cromosomas bajo la Ecuación 7 y 8, se genera la Tabla 20 que contiene los valores obtenidos para cada uno y de acuerdo a esta se inicia el proceso de selección.

Tabla 20. *Evaluación de aptitud o fitness*

	<u>Cromosomas</u>						<u>Costo (\$)</u>	<u>Fitness φ_i</u>
<u>1</u>	6	2	3	4	1	5	27613	3,62148E-05
<u>2</u>	2	6	5	4	3	1	28520	3,50631E-05
<u>3</u>	2	4	3	1	5	6	25673	3,89514E-05
<u>4</u>	3	5	2	1	6	4	29743	3,36214E-05
<u>5</u>	6	5	1	3	4	2	26311	3,80069E-05
<u>6</u>	1	2	4	3	6	5	24280	4,11862E-05
<u>7</u>	3	6	1	5	4	2	29499	3,38995E-05
<u>8</u>	4	2	6	3	5	1	24968	4,00513E-05
<u>9</u>	2	3	5	4	6	1	28559	3,50152E-05
<u>10</u>	1	4	3	5	6	2	27414	3,64777E-05
<u>11</u>	6	5	4	1	2	3	28291	3,53469E-05
<u>12</u>	4	2	1	5	6	3	24987	4,00208E-05
							$\sum \varphi_i$	0,000443855

Fuente. Elaboración propia

Selección. El proceso de selección se lleva a cabo bajo la técnica de selección por sorteo el cual usa un parámetro de selección (λ) que representa el porcentaje que ocupa el cromosoma dentro de la sumatoria de toda la población evaluada (Ecuación 9). Después de esto, se genera un número aleatorio entre 0 y 1 para cada individuo, así, con este número se seleccionan aquellos cromosomas que se encuentren en la fracción o rango del porcentaje acumulado. En síntesis, aquellos cromosomas con un mayor valor de aptitud o fitness tendrán más posibilidad de ser seleccionados como padres. (Collazos, C. 2013)

Ecuación 9. Parámetro de selección λ

$$\text{Parametro de seleccion } \lambda = \frac{\varphi_i}{\sum \varphi_i}$$

Como se aprecia en tabla 21, de acuerdo al parámetro de selección y el número aleatorio obtenido para cada uno de las posiciones de los cromosomas, se eligen los nuevos padres los cuales serán candidatos para realizar el cruce entre ellos.

Cruce. De los nuevos mejores padres obtenidos después de evaluar su aptitud se seleccionan aleatoriamente pares de individuos y un punto del cromosoma sobre el cual se realiza el cruce, como se muestra en la figura 24 se realiza el cruce de dos cromosomas en el segundo gen. Para el proceso se usó un cruce básico seleccionando aleatoriamente un punto de la cadena.

Con cada cruce se genera un nuevo par de cromosomas, pero como se aprecia en la figura 24, al cruzar se encuentra que los genes cedidos de un padre a otro presentan repeticiones y estas deben ser eliminadas cambiando el gen original repetido por el gen que se encontraba en la

Tabla 21. Selección mediante parámetro λ

Selección mediante parametro λ											
Costo	Fitness	λ Selección	% Acum	# Aleatorio	Selección	Mejores Padres	Cromosomas Mejores Padres				
27613	3,6E-05	0,08159	0,08159	0,04716	1	27613	6	2	3	4	1 5
28520	3,5E-05	0,079	0,16059	0,82159	10	27414	1	4	3	5	6 2
25673	3,9E-05	0,08776	0,24835	0,47555	6	29499	1	2	4	3	6 5
29743	3,4E-05	0,07575	0,32409	0,21139	3	25673	2	4	3	1	5 6
26311	3,8E-05	0,08563	0,40972	0,31344	4	29743	3	5	2	1	6 4
24280	4,1E-05	0,09279	0,50251	0,44964	6	29499	1	2	4	3	6 5
29499	3,4E-05	0,07638	0,57889	0,4659	6	29499	1	2	4	3	6 5
24968	4E-05	0,09023	0,66912	0,73453	9	28559	2	3	5	4	6 1
28559	3,5E-05	0,07889	0,74801	0,16956	3	25673	2	4	3	1	5 6
27414	3,6E-05	0,08218	0,8302	0,13918	2	28520	2	6	5	4	3 1
28291	3,5E-05	0,07964	0,90983	0,85669	11	28291	6	5	4	1	2 3
24987	4E-05	0,09017	1	0,09379	2	28520	2	6	5	4	3 1
0,00044											

Fuente. Elaboración propia

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE	CRUCE					
6	2	3	4	1	5	2	6	2	3	5	6	2
1	4	3	5	6	2		1	4	3	4	1	5

Figura 24. Cruce de cromosomas

Fuente. Elaboración propia

posición antes del cruce; como se muestra en la figura 25 esto se realiza hasta eliminar la repetición de genes (Collazos, C. 2013).

Mutación. Para el algoritmo, se define la probabilidad de mutación de acuerdo al planteamiento de Brindle (1980) que usa la ecuación 10 planteada por Holland (1975) donde el

parámetro de mutación es el inverso del tamaño de la población de cromosomas con los que se está trabajando el algoritmo. De acuerdo a esta probabilidad, se genera un numero aleatorio entre 0 y 1 para cada cromosoma, y así, se define si cada uno de los cromosomas muta si el valor está por debajo de la probabilidad de mutación o no si es lo contrario; si el cromosoma muta, se realiza una mutación intercambiando de manera aleatoria los genes del cromosoma como se muestra en la tabla 22.

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE		CRUCE						
623415						2	62		3562					
143562							14		3415					

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE		CRUCE						
623415						2	12		3562					
143562							14		3415					

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE		CRUCE						
623415						2	15		3562					
143562							14		3415					

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE		CRUCE						
623415						2	14		3562					
143562							14		3415					

MEJORES PADRES						PUNTO DE CRUCE		CRUCE						
623415						2	14		3562					
143562							62		3415					

Figura 25. Eliminación de genes repetidos.

Fuente. Elaboración propia

Ecuación 10. Probabilidad de mutación

$$\text{Probabilidad de mutación} = \frac{1}{n}$$

Tabla 22. *Mutación Aleatoria*

<i>Mutación aleatoria</i>						0,0833333 <u>Probabilidad de Mutacion</u>						<u>Posición de departamentos mutados</u>	
<u>Cruce</u>						<u>Pm</u>	<u>Mutación (aleatoria)</u>						
1	4	3	5	6	2	0,7701585							
6	2	3	4	1	5	0,929316							
1	2	4	3	5	6	0,1015258							
2	4	3	1	6	5	0,1680781							
1	2	4	3	6	5	0,1075023							
3	5	2	1	6	4	0,5143593							
5	2	3	4	6	1	0,1758375							
2	4	1	3	6	5	0,1663348							
2	6	5	4	3	1	0,001275	2	5	6	4	3	1	2-3
2	4	3	1	5	6	0,6022055							
6	2	5	4	3	1	0,0459947	6	2	1	4	3	5	3-6
5	6	4	1	2	3	0,3117351							

Fuente. Elaboración propia

Criterio de parada. Para este caso se eligió un criterio de parada en un máximo de diez iteraciones de acuerdo al alcance del trabajo y la cantidad de departamentos a distribuir con los que cuenta la organización.

Mejores propuestas encontradas. En el proceso de aplicación del metaheurístico AG se logró obtener dos propuestas las cuales se basaron en el SFC con oscilaciones de llenado horizontal como es mostrado en la figura 16 b), el ancho de la banda se definió de acuerdo a la infraestructura de la organización, pues esta posee columnas cada 5 mts a lo largo y ancho.

Las propuestas obtenidas arrojan un valor de costo de transporte de \$22727 y \$23018,6 siendo la propuesta 1 AG y propuesta 2 AG respectivamente como se muestra en la tabla 23. Los

cromosomas y arreglos resultantes para cada propuesta se muestran a continuación en las figuras 26 y 27.

Tabla 23. Costo total de las propuestas AG

	Costo (\$)
<u>Propuesta 1 AG</u>	22727
<u>Propuesta 2 AG</u>	23018

Fuente. Elaboración propia

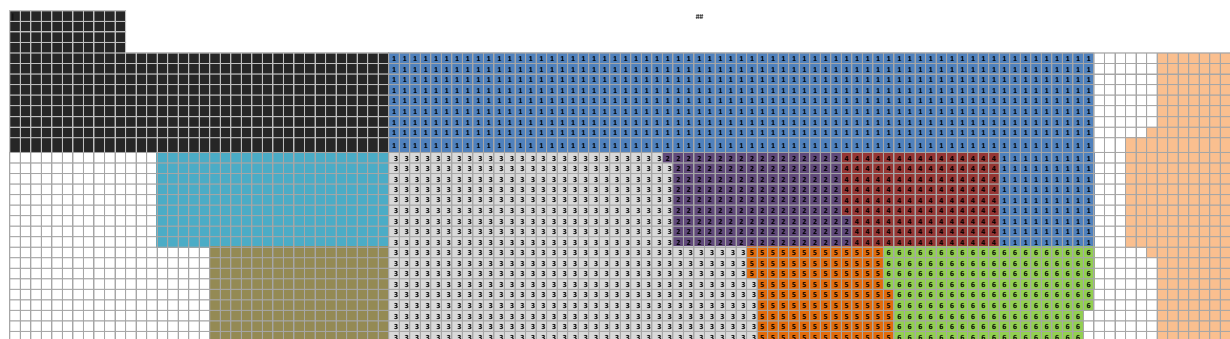


Figura 26. Propuesta AG 1

Fuente. Elaboración propia

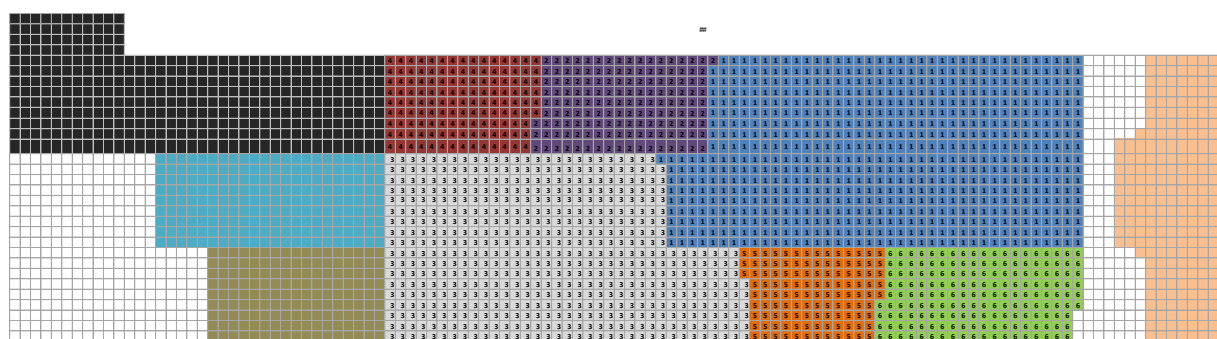


Figura 27. Propuesta AG 2

Fuente. Elaboración propia

Evaluación de las propuestas

Ya con las propuestas generadas bajo la metodología SLP y el método AG se lleva a cabo la evaluación de cada una de las propuestas encontradas para realizar la respectiva comparación de los resultados y poder elegir cual propuesta es mejor. Dicha evaluación se llevará a cabo de acuerdo al Costo de transporte de materiales debido a que dentro de los objetivos de la distribución de planta enunciados por Muther (1970) se encuentra el movimiento del material según el principio de la mínima distancia el cual considera el material como el factor más importante en una distribución. Además, se evaluara bajo el indicador de productividad mostrado en la ecuación 6 que es uno de los objetivos del caso de estudio.

Se realiza la matriz origen-destino de cada una de las propuestas encontradas por los métodos para así calcular el Costo total de transporte de materiales que se ve minimizado al disminuir la distancia entre departamentos, por lo tanto, debemos buscar aquella distribución que nos arroje el menor costo. La matriz Origen-Destino será alimentada por una Matriz de Distancia y otra de Flujo entre los departamentos.

El costo de transporte de materiales está dado por la ecuación 7 donde se genera el producto de la distancia por el flujo y por el costo unitario de transporte, que para este caso el costo unitario de transporte entre áreas es igual para todos los departamentos y se asume como \$1, por lo cual, el Costo total de transporte de materiales se ve reflejado en la sumatoria del producto entre la distancia y flujo de cada departamento, es decir, el valor del costo de transporte será igual a la distancia total recorrida en el proceso de fabricación. Para realizar la evaluación de productividad de las propuestas se debe convertir la distancia recorrida de cada una en unidades de tiempo teniendo en cuenta que el promedio de velocidad de caminata de un adulto es de 4.3 km/h según

Tudor-Locke, C., Han, H., Aguilar, E., Barreira, T., Schuna, J., Kang, M. y Rowem D. (2017), y de ahí, hallar la diferencia entre el estado actual y la propuesta a evaluar para obtener el ahorro del tiempo de desplazamientos; después de esto, se calcula el índice de productividad para el estado actual de acuerdo a la ecuación 5 donde las unidades producidas serán la totalidad del mes, el recurso invertido es el tiempo de operación de la organización en un mes (24 días laborales en el mes x 8 horas diarias). Se calcula el índice de productividad para cada propuesta donde las unidades producidas son el total del mes más las unidades que se podrán fabricar en el tiempo ahorrado por la reducción en los desplazamientos. Con estos dos indicadores, se realiza la diferencia para identificar la cantidad de unidades que aumentará la productividad.

La matriz de flujo es igual para cada una de las propuestas debido a que el volumen de producción en la organización no cambia; en la tabla 24 se muestra la matriz con la que se evaluarán las propuestas.

Tabla 24. *Flujos entre departamentos*

<i>Flujos entre departamentos</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	1,0		1,0	1,0	1,0	1,0			
<u>MC</u>		-	172,0							
<u>GF</u>			-			66,0		172,0		
<u>MT</u>				-				196,0		
<u>FU</u>					-			115,0		
<u>VU</u>			66,0			-		66,0		
<u>ES</u>							-	41,0		
<u>EM</u>								-	590,0	
<u>AL</u>									-	
<u>MA</u>										-

Fuente. Elaboración propia

Evaluación de la distribución actual por costo de transporte

Para evaluar el estado actual de la organización se genera la matriz de distancia entre departamentos en base a la distancia rectilínea (ecuación 5), con la distribución que posee actualmente como se ve en la tabla 25. Se genera la matriz de flujo para la situación actual que es diferente a la que se tendrá en cuenta para evaluar las propuestas debido a que hay flujo entre las áreas de cada proceso que se encuentran divididas, esta se muestra en la tabla 26. La matriz Origen-Destino mostrada en la tabla 27 nos arroja el costo total de transporte de materiales para la distribución actual de \$44243,6.

Tabla 25. *Distancia entre centroides distribución actual*

<i>Distancia entre centroides distribución actual</i>														
	<u>OF</u>	<u>MC1</u>	<u>MC2</u>	<u>GF</u>	<u>MT1</u>	<u>MT2</u>	<u>FU1</u>	<u>FU2</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA1</u>	<u>MA2</u>
<u>OF</u>	-	25,0	42,8	10,0	42,5	29,3	45,0	38,3	38,3	24,8	10,3	8,4	33,8	33,8
<u>MC1</u>	25,0	-	17,7	15,0	17,5	10,3	20,0	13,2	13,2	5,8	35,3	28,8	8,7	8,7
<u>MC2</u>	42,8	17,7	-	32,8	12,5	13,5	6,8	4,5	4,5	18,0	53,0	46,5	9,0	9,0
<u>GF</u>	10,0	15,0	32,8	-	32,5	19,3	35,0	28,3	28,3	14,8	20,3	16,4	23,8	23,8
<u>MT1</u>	42,5	17,5	12,5	32,5	-	26,0	5,7	17,0	8,0	21,5	52,8	46,3	21,5	12,5
<u>MT2</u>	29,3	10,3	13,5	19,3	26,0	-	20,3	9,0	18,0	4,5	39,5	33,0	4,5	13,5
<u>FU1</u>	45,0	20,0	6,8	35,0	5,7	20,3	-	11,3	6,8	20,3	55,3	48,8	15,8	11,3
<u>FU2</u>	38,3	13,2	4,5	28,3	17,0	9,0	11,3	-	9,0	13,5	48,5	42,0	4,5	4,5
<u>VU</u>	38,3	13,2	4,5	28,3	8,0	18,0	6,8	9,0	-	13,5	48,5	42,0	13,5	4,5
<u>ES</u>	24,8	5,8	18,0	14,8	21,5	4,5	20,3	13,5	13,5	-	35,0	28,5	9,0	9,0
<u>EM</u>	10,3	35,3	53,0	20,3	52,8	39,5	55,3	48,5	48,5	35,0	-	6,5	44,0	44,0
<u>AL</u>	8,4	28,8	46,5	16,4	46,3	33,0	48,8	42,0	42,0	28,5	6,5	-	37,5	37,5
<u>MA1</u>	33,8	8,7	9,0	23,8	21,5	4,5	15,8	4,5	13,5	9,0	44,0	37,5	-	9,0
<u>MA2</u>	33,8	8,7	9,0	23,8	12,5	13,5	11,3	4,5	4,5	9,0	44,0	37,5	9,0	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 26. *Flujo entre departamentos distribución actual*

<i>Flujo entre departamentos distribución actual</i>														
	<u>OF</u>	<u>MC1</u>	<u>MC2</u>	<u>GF</u>	<u>MT1</u>	<u>MT2</u>	<u>FU1</u>	<u>FU2</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA1</u>	<u>MA2</u>
<u>OF</u>	-	1,0			1,0		1,0		1,0	1,0				
<u>MC1</u>		-	172,0	172,0										
<u>MC2</u>		172,0	-											
<u>GF</u>				-					66,0		172,0			
<u>MT1</u>					-	196,0								
<u>MT2</u>						-					196,0			
<u>FU1</u>							-	115,0						
<u>FU2</u>								-			115,0			
<u>VU</u>				66,0					-		66,0			
<u>ES</u>										-	41,0			
<u>EM</u>											-	590,0		
<u>AL</u>												-		
<u>MA1</u>													-	
<u>MA2</u>														-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 27. *Matriz origen-destino distribución actual*

<i>Matriz Origen-Destino distribución actual</i>														
	<u>OF</u>	<u>MC1</u>	<u>MC2</u>	<u>GF</u>	<u>MT1</u>	<u>MT2</u>	<u>FU1</u>	<u>FU2</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA1</u>	<u>MA2</u>
<u>OF</u>	-	25,0			42,5		45,0		38,3	24,8				175,5
<u>MC1</u>		-	3049,3	2583,7										5633,0
<u>MC2</u>		3049,3	-											3049,3
<u>GF</u>				-					1864,5		3485,3			5349,8
<u>MT1</u>					-	5089,6								5089,6
<u>MT2</u>						-					7744,6			7744,6
<u>FU1</u>							-	1293,8						1293,8
<u>FU2</u>								-			5579,1			5579,1
<u>VU</u>				1864,5					-		3201,9			5066,4
<u>ES</u>										-	1435,6			1435,6
<u>EM</u>											-	3827,0		3827,0
<u>AL</u>												-		0,0
<u>MA1</u>													-	0,0
<u>MA2</u>														-
Total														44243,6

Fuente. Elaboración propia

Evaluación propuesta SLP por costo de transporte

Se genera la Matriz de distancia entre departamentos para las propuestas encontradas por el método SLP. Tabla 28 y 30 para la propuesta uno y la propuesta dos respectivamente. Después se genera la matriz Origen-Destino para cada propuesta y se calcula el costo total de transporte como se ve en la tabla 29 y 31 de la uno y la dos respectivamente. Para la propuesta uno se obtuvo un costo total de \$23408,7 y para la propuesta dos un costo total de \$24534,6

Tabla 28. *Distancia entre centroides propuesta 1*

<i>Distancia entre centroides propuesta 1</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	24,9	8,3	33,1	46,8	12,8	16,3	5,8	14,9	34,5
<u>MC</u>	24,9	-	16,6	8,2	21,9	16,4	21,4	25,9	35,1	14,3
<u>GF</u>	8,3	16,6	-	24,9	38,6	4,5	9,5	14,0	23,1	26,2
<u>MT</u>	33,1	8,2	24,9	-	22,0	20,4	16,9	29,9	30,3	19,0
<u>FU</u>	46,8	21,9	38,6	22,0	-	34,1	38,7	43,6	52,4	12,8
<u>VU</u>	12,8	16,4	4,5	20,4	34,1	-	5,0	9,5	18,6	30,7
<u>ES</u>	16,3	21,4	9,5	16,9	38,7	5,0	-	13,0	13,6	35,7
<u>EM</u>	5,8	25,9	14,0	29,9	43,6	9,5	13,0	-	9,1	40,2
<u>AL</u>	14,9	35,1	23,1	30,3	52,4	18,6	13,6	9,1	-	49,4
<u>MA</u>	34,5	14,3	26,2	19,0	12,8	30,7	35,7	40,2	49,4	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 29. *Matriz Origen-Destino propuesta 1*

<i>Matriz Origen-Destino Propuesta 1</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	24,9		33,1	46,8	12,8	16,3			133,8
<u>MC</u>		-	2861,2							2861,2
<u>GF</u>			-			297,0		2408,0		2705,0
<u>MT</u>				-				5851,5		5851,5
<u>FU</u>					-			5010,0		5010,0
<u>VU</u>			297,0			-		627,0		924,0
<u>ES</u>							-	533,0		533,0
<u>EM</u>								-	5390,2	5390,2
<u>AL</u>									-	0,0
<u>MA</u>										-
Total										23408,7

Fuente. Elaboración propia

Tabla 30. *Distancia entre centroides propuesta 2*

<i>Distancia entre centroides propuesta 2</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	25,1	8,3	19,7	47,5	16,8	41,4	5,8	14,9	39,5
<u>MC</u>	25,1	-	16,9	5,6	22,4	14,7	16,2	21,9	28,8	25,6
<u>GF</u>	8,3	16,9	-	11,4	39,3	9,0	33,1	14,0	23,1	31,3
<u>MT</u>	19,7	5,6	11,4	-	27,8	20,3	21,7	25,3	34,4	20,0
<u>FU</u>	47,5	22,4	39,3	27,8	-	35,0	10,2	44,3	49,1	8,5
<u>VU</u>	16,8	14,7	9,0	20,3	35,0	-	24,8	13,5	14,1	40,3
<u>ES</u>	41,4	16,2	33,1	21,7	10,2	24,8	-	38,1	39,0	15,4
<u>EM</u>	5,8	21,9	14,0	25,3	44,3	13,5	38,1	-	9,1	45,3
<u>AL</u>	14,9	28,8	23,1	34,4	49,1	14,1	39,0	9,1	-	54,4
<u>MA</u>	39,5	25,6	31,3	20,0	8,5	40,3	15,4	45,3	54,4	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 31. *Matriz Origen-Destino propuesta 2*

<i>Matriz Origen-Destino Propuesta 2</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	25,1		19,7	47,5	16,8	41,4			150,4
<u>MC</u>		-	2904,9							2904,9
<u>GF</u>			-			594,0		2408,0		3002,0
<u>MT</u>				-				4950,6		4950,6
<u>FU</u>					-			5088,8		5088,8
<u>VU</u>			594,0			-		891,0		1485,0
<u>ES</u>							-	1562,8		1562,8
<u>EM</u>								-	5390,2	5390,2
<u>AL</u>									-	0,0
<u>MA</u>										-
Total										24534,6

Fuente. Elaboración propia

Evaluación propuestas algoritmo genético por costo de transporte

Para la evaluación de las propuestas obtenidas del algoritmo genético, se presentan la matriz de distancia en la tabla 32 y 34 para cada una de las propuestas, y se genera la matriz Origen-

Destino para las mejores propuestas como se muestran en la tabla 33 y 35. Para la propuesta uno se obtuvo un costo total de \$22727,1 y para la propuesta dos un costo total de \$23018,6.

Tabla 32. *Distancia entre centroides propuesta 1*

<i>Distancia entre centroides propuesta 1</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	31,2	26,3	14,1	46,4	34,0	24,8	5,8	14,9	32,8
<u>MC</u>	31,2	-	4,9	17,1	21,5	10,8	10,5	27,9	29,1	18,5
<u>GF</u>	26,3	4,9	-	12,2	20,1	7,8	7,5	23,0	32,1	15,5
<u>MT</u>	14,1	17,1	12,2	-	32,3	19,9	14,6	15,9	25,1	22,6
<u>FU</u>	46,4	21,5	20,1	32,3	-	12,4	21,6	43,1	50,6	13,6
<u>VU</u>	34,0	10,8	7,8	19,9	12,4	-	9,3	30,8	39,9	7,8
<u>ES</u>	24,8	10,5	7,5	14,6	21,6	9,3	-	30,5	39,6	8,0
<u>EM</u>	5,8	27,9	23,0	15,9	43,1	30,8	30,5	-	9,1	38,5
<u>AL</u>	14,9	29,1	32,1	25,1	50,6	39,9	39,6	9,1	-	47,6
<u>MA</u>	32,8	18,5	15,5	22,6	13,6	7,8	8,0	38,5	47,6	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 33. *Matriz Origen-Destino propuesta 1*

<i>Matriz Origen-Destino Propuesta 1</i>										
	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	31,2		14,1	46,4	34,0	24,8			150,4
<u>MC</u>		-	848,7							848,7
<u>GF</u>			-			511,5		3956,0		4467,5
<u>MT</u>				-				3120,2		3120,2
<u>FU</u>					-			4958,7		4958,7
<u>VU</u>			511,5			-		2029,5		2541,0
<u>ES</u>							-	1250,5		1250,5
<u>EM</u>								-	5390,2	5390,2
<u>AL</u>									-	0,0
<u>MA</u>										-
Total										22727,1

Fuente. Elaboración propia

Tabla 34. *Distancia entre centroides propuesta 1.**Distancia entre centroides propuesta 1*

	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
<u>OF</u>	-	34,7	24,8	14,1	46,4	17,0	24,8	5,8	14,9	32,8
<u>MC</u>	34,7	-	14,7	20,6	14,2	22,5	9,9	31,4	36,4	11,3
<u>GF</u>	24,8	14,7	-	10,7	29,0	7,8	18,0	21,5	21,6	26,0
<u>MT</u>	14,1	20,6	10,7	-	32,3	11,2	14,6	15,9	25,1	22,6
<u>FU</u>	46,4	14,2	29,0	32,3	-	36,7	21,6	43,1	50,6	13,6
<u>VU</u>	17,0	22,5	7,8	11,2	36,7	-	25,8	13,8	13,9	33,8
<u>ES</u>	24,8	9,9	18,0	14,6	21,6	25,8	-	30,5	39,6	8,0
<u>EM</u>	5,8	31,4	21,5	15,9	43,1	13,8	30,5	-	9,1	38,5
<u>AL</u>	14,9	36,4	21,6	25,1	50,6	13,9	39,6	9,1	-	47,6
<u>MA</u>	32,8	11,3	26,0	22,6	13,6	33,8	8,0	38,5	47,6	-

Fuente. Elaboración propia

Tabla 35. *Matriz Origen-Destino propuesta 1**Matriz Origen-Destino Propuesta 1*

	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>	
<u>OF</u>	-	34,7		14,1	46,4	17,0	24,8				136,9
<u>MC</u>		-	2533,6								2533,6
<u>GF</u>			-			511,5		3698,0			4209,5
<u>MT</u>				-				3120,2			3120,2
<u>FU</u>					-			4958,7			4958,7
<u>VU</u>			511,5			-		907,5			1419,0
<u>ES</u>							-	1250,5			1250,5
<u>EM</u>								-	5390,2		5390,2
<u>AL</u>									-		0,0
<u>MA</u>										-	0,0
										Total	23018,6

Fuente. Elaboración propia

Evaluación de la productividad

Para hallar el indicador de productividad para el estado actual, se realiza el cálculo de la ecuación 5 de acuerdo al total de unidades producidas mostrado en la tabla 8 y el tiempo total de operación de la organización en un mes (ecuación 11), el cálculo del indicador de productividad se encuentra en la ecuación 12.

Ecuación 11. Tiempo total de operación.

$$\text{Tiempo total de operacion} = 24 \text{ dias/mes} \times 8 \text{ horas/dia} = 192 \text{ h/mes}$$

Ecuación 12. Indicador de productividad estado actual.

$$\text{Productividad Actual} = \frac{\text{Unidades producidas/mes}}{\text{Tiempo de operacion/mes}} = \frac{7068 \text{ und/mes}}{192 \text{ h/mes}} = 36 \text{ u/h}$$

Para el estado actual se obtiene un indicador de productividad de 36 u/h.

De acuerdo al proceso visto anteriormente, se lleva a cabo el cálculo de la productividad para las propuestas uno y dos construidas por la metodología SLP. Para obtener el indicador de productividad se calcula inicialmente el tiempo ahorrado hallando la diferencia entre las distancias recorridas de cada propuesta con la distribución actual dividido la velocidad promedio de caminata de un adulto (ecuación 13); este tiempo será usado para el cálculo del indicador de productividad teniendo la consideración de que para cada transporte de producto entre áreas el operador detiene su proceso y realiza la labor de patinador, por lo tanto, este nuevo tiempo disponible se podrá destinar a la fabricación de nuevos productos.

Ecuación 13. Tiempo ahorrado.

$$\text{Tiempo ahorrado} = \frac{d \text{ Distribucion actual} - d \text{ propuesta } X}{\text{Velocidad promedio de caminata}}$$

Ecuación 14. Tiempo ahorrado propuesta 1 SLP

$$\text{Tiempo ahorrado propuesta 1 SLP} = \frac{44243.6 \text{ m} - 23408.7 \text{ m}}{4300 \text{ m/h}} = 4.85 \text{ h}$$

Ecuación 15. Tiempo ahorrado propuesta 2 SLP.

$$\text{Tiempo ahorrado propuesta 2 SLP} = \frac{44243.6 \text{ m} - 24534.6 \text{ m}}{4300 \text{ m/h}} = 4.58 \text{ h}$$

Las unidades producidas cambiarán para el cálculo del indicador de productividad debido a que se supone que el tiempo ahorrado se dedicará a la fabricación de más productos. El tiempo total de operación de la organización no cambia. La nueva cantidad de unidades producidas está dada por la suma entre el total de unidades producidas en el mes y el producto de la productividad actual por el tiempo ahorrado. Se procede a realizar el cálculo del indicador para las propuestas uno y dos de la metodología SLP. Estas tuvieron una productividad de 37.72 u/h y 37.67 u/h (ecuación 16 y 17).

Ecuación 16. Indicador de productividad propuesta 1 SLP

$$\text{Productividad Propuesta 1 SLP} = \frac{7068 \text{ und/mes} + (4.85 \text{ h} \times 36 \text{ u/h})}{192 \text{ h/mes}} = 37.72 \text{ u/h}$$

Ecuación 17. Indicador de productividad propuesta 2 SLP

$$\text{Productividad Propuesta 2 SLP} = \frac{7068 \text{ und/mes} + (4.58 \text{ h} \times 36 \text{ u/h})}{192 \text{ h/mes}} = 37.67 \text{ u/h}$$

Se realiza el cálculo de los indicadores de productividad para las propuestas uno y dos obtenidas del método Algoritmo Genético. Estas arrojaron una productividad del 37.75 u/h y 37.73 u/h (ecuación 20 y 21).

Ecuación 18. Tiempo ahorrado propuesta 1 AG

$$\text{Tiempo ahorrado propuesta 1 AG} = \frac{44243.6 \text{ m} - 22727.1 \text{ m}}{4300 \text{ m/h}} = 5.0 \text{ h}$$

Ecuación 19. Tiempo ahorrado propuesta 2 AG

$$\text{Tiempo ahorrado propuesta 2 AG} = \frac{44243.6 \text{ m} - 23018.6 \text{ m}}{4300 \text{ m/h}} = 4.93 \text{ h}$$

Ecuación 20. Indicador de productividad propuesta 1 AG

$$\text{Productividad Propuesta 1 AG} = \frac{7068 \text{ und/mes} + (5.0 \text{ h} \times 36 \text{ u/h})}{192 \text{ h/mes}} = 37.75 \text{ u/h}$$

Ecuación 21. Indicador de productividad propuesta 2 AG

$$\text{Productividad Propuesta 2 AG} = \frac{7068 \text{ und/mes} + (4.93 \text{ h} \times 36 \text{ u/h})}{192 \text{ h/mes}} = 37.73 \text{ u/h}$$

Comparación de resultados

Comparando los resultados obtenidos de las propuestas de distribución generadas por el SLP y el AG mostrados en la tabla 36, se evidencia una reducción significativa con respecto al estado actual de la organización. La propuesta que arroja el menor costo de transporte de materiales es la primera propuesta encontrada por el algoritmo genético y logra reducir los costos en comparación al estado inicial en un 49% y también un aumento en la productividad de 4.86%. Cabe aclarar que el AG solo trabaja evaluando el costo de transporte, mientras que el SLP tiene en cuenta relaciones de proximidad entre los departamentos por diferentes motivos; esto se debe a que la metodología SLP es cualitativa y el AG es un método de mejora cuantitativo.

Tabla 36. Comparación de resultados

	<u>Costo de</u> <u>transporte</u> <u>SLP (\$)</u>	<u>Costo de</u> <u>transporte</u> <u>AG (\$)</u>	<u>Actual</u> <u>(\$)</u>	<u>Reducción</u> <u>Costo</u> <u>SLP</u>	<u>Reducción</u> <u>Costo AG</u>	<u>Aumento</u> <u>de la</u> <u>Productividad</u> <u>SLP</u>	<u>Aumento</u> <u>de la</u> <u>Productividad</u> <u>AG</u>
<u>Propuesta 1</u>	23408,7	22727,1	44243,6	47%	49%	4.77%	4.86 %
<u>Propuesta 2</u>	24534,6	23018,6		45%	48%	4.64 %	4.8 %

Fuente. Elaboración propia

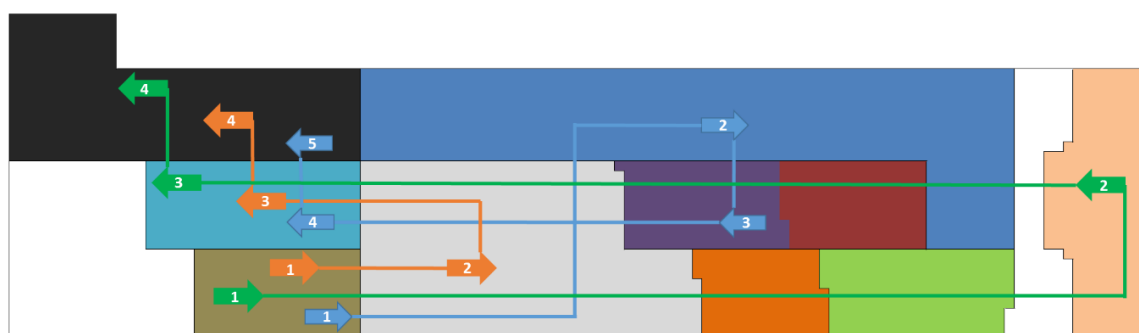


Figura 28. Flujos en el plano mejor propuesta parte 1

Fuente. Elaboración propia

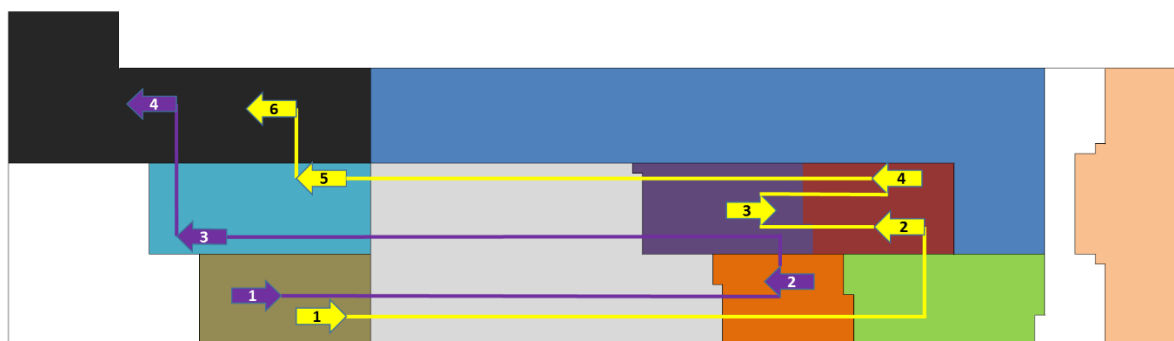


Figura 29. Flujos en el plano mejor propuesta parte 2

Fuente. Elaboración propia

En la figura 28 y 29 se aprecian los flujos de material en la mejor propuesta de distribución, se evidencia la reducción de la distancia que recorre el material, la disminución de contraflujos, los cruces entre departamentos, en general, se aprecia menos saturado el esquema de operación de la organización.

De acuerdo al estudio y aplicación del caso, se aprecia que la mejor propuesta para que la organización realice una redistribución de planta es la propuesta uno encontrada por el algoritmo genético, esto evaluado en término del costo de transporte de materiales y productividad. La organización de cada una de las áreas se realiza de acuerdo al recorrido del proceso de fabricación de la familia de productos véase figura 30.

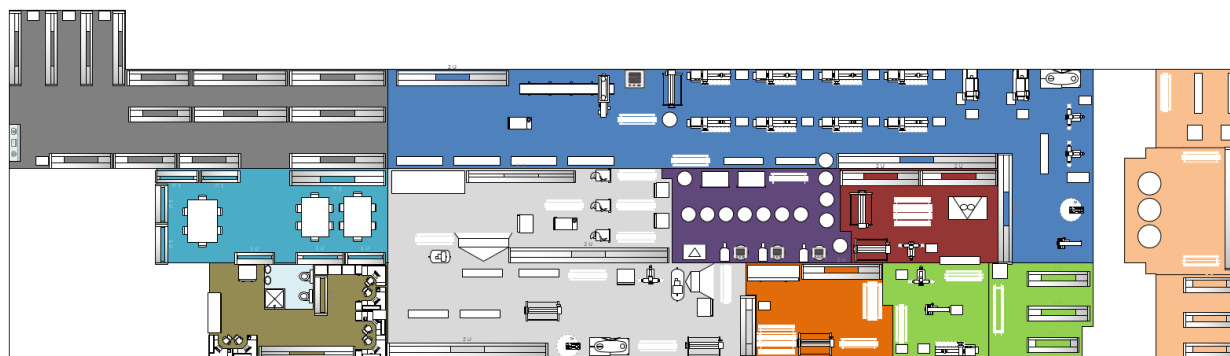


Figura 30. Plano de mejor propuesta de distribución.

Conclusiones

Como se ve en los resultados obtenidos, la aplicación de los métodos para generar las propuestas logro mejorar el costo de transporte de la distribución actual hasta un 47% mediante el SLP y un 49% mediante el AG con una productividad de 4.77% y 4.86% respectivamente. Para este caso, los dos métodos logran arrojar una mejora significativa en cuanto al costo de transporte de materiales, lo cual muestra que la aplicación de los dos métodos genera buenas soluciones para problemas de distribución en planta en este sentido. De acuerdo a la productividad, la mejora que se obtiene no es significativa y deberá evaluarse tanto financieramente como otros factores para decidir si es viable ejecutarla.

La etapa de recolección de datos es importante realizarla con un criterio objetivo debido a que de esta resultaran los parámetros, restricciones y otros para el planteamiento del caso; de acuerdo a esta información, se tendrá claridad de las características que se debe buscar entre los métodos disponibles para dar solución al FLP. Seleccionar el método que se ajuste a las necesidades para lograr así, que se cumplan los objetivos de la aplicación como se logra evidenciar en este caso.

Un resultado inicial de definir el estado actual de la organización y evaluar el requerimiento de espacio actual bajo el método Guerchet es la evidencia y soporte que la organización sí aumentar su aumentar su espacio físico para la distribución de la organización, se observa que la distribución actual ocupa un área total de $533 m^2$ y el espacio requerido es de $682 m^2$, la distribución actual presenta un faltante de $149 m^2$ para un funcionamiento óptimo. La organización tomo una buena decisión al adquirir la propiedad contigua a sus instalaciones en base a su necesidad de espacio.

Un resultado de la realización de este trabajo es la experiencia y la evidencia de que una organización, en el momento en que la demanda la obliga a crecer para poder satisfacerla, no se presta atención en las consecuencias que resultaran por acomodar los nuevos recursos en un espacio disponible sin un criterio objetivo; esto, después de “satisfacer” la demanda, a mediano o largo plazo genera ineficiencia. Lo anterior es un grave problema que afecta a muchas pequeñas y medianas empresas.

La organización lograra reducir sus costos de transporte de material en un 49% y aumentar su productividad en un 4.86% de ser usada la propuesta, además, se presenta un espacio disponible dentro de la distribución resultante en el cual esta podrá abrir el punto de venta directa que tenían como objetivo para el año entrante si la asignación de espacio en el nuevo área les daba la posibilidad de hacerlo.

El método SLP al ser una metodología cualitativa, con su aplicación se puede usar criterios como dependencia por la asignación y uso de los mismos recursos (Personal y equipos), además, puede ser evaluado directamente por el costo de transporte de materiales; pero se puede ver limitada a la capacidad del desarrollador. El AG en cambio, es un método cuantitativo basado en el costo de transporte de materiales entre las áreas, es evolutivo y permite una adaptación al espacio de búsqueda y a cada caso. El AG al ser un método de búsqueda evolutiva y no secuencial, puede tener menor dependencia de la capacidad del desarrollador.

De las propuestas obtenidas, y en el caso de la mejor, se evidencia como se redujo el cruce de los flujos, además del contraflujo para algunos procesos. Al comprobarse que si es necesario el uso del área adquirida, se da una alternativa en la cual al quitar el proceso que

representaba riesgos en el único acceso al área de producción, se puede llegar a reducir la probabilidad de accidentes laborales y otros factores que incurren en esto.

Referencias

Alvarez, A., Moreno, A., Noble, V., y López, J. (2013) Distribución de instalaciones: métodos de solución y aplicaciones recientes. *Universidad de Córdoba*.

Andrade, D., y Rodríguez, L. (2016) Solución al problema de distribución de planta dinámico (DFLP) para instalaciones de áreas iguales mediante el híbrido búsqueda tabú – algoritmo genético. (Trabajo de grado inédito). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Batista, B., Glover, F. (2006) Introducción a la Búsqueda Tabú. *Universidad de la Laguna*.

Betancourt, C., Gutiérrez, K., y Orjuela, N. (2005). Análisis, evaluación y formulación estratégica para la empresa mundial de troquelados Ltda. (Trabajo de grado inédito). Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia.

Bravo, D., Sanchez, C. (2011) Distribucion en planta. *Universidad Nacional de Colombia*.

Brindle, A. (2008) A genetic algorithms for function optimization. (Tesis Doctoral) *University of Alberta*.

Calderón, E., Duarte, M. (2010). Alternativas de solución al problema de distribución de planta (FLP) de un solo nivel y departamentos iguales o desiguales, por medio del análisis de métodos Meta heurísticos. (Trabajo de grado inédito). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Carrión, D. (2003) Modelaje de distribución de planta para industrias VIBAL LTDA. (Trabajo de grado inédito). Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

Carro, R., y Gonzales, D. (2012) Localización de instalaciones. *Universidad de Mar del Plata*.

Collazos, C. (2013) Rediseño del sistema productivo utilizando técnicas de distribución de planta. (Trabajo de grado inédito). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

Contreras, R. (2010) Modelo de optimización en la generación de plantas industriales, considerando las actividades de mantenimiento y las condiciones ambientales mediante el uso de la metodología de los algoritmos genéticos. (Tesis Doctoral). *Universidad Politécnica de Valencia*.

Chwif, L., Pereira Barretto, M. y Moscato, L. (1998) A solution to the facility layout problem using simulated annealing. *Computers in industry*. 2(36), 125-132.

Tudor-Locke, C., Han, H., Aguilar, E., Barreira, T., Schuna, J., Kang, M. y Rowem D. (2017), How fast is fast enough? Walking cadence (steps/min) as a practical estimate of intensity in adults: a narrative review. *University of Massachusetts*.

Domínguez, C., De los Ríos, G. y Velásquez, J. (2005) Distribución de espacios en plantas industriales usando búsqueda Tabú. *Dyna*, 72(145), 77-84.

Drira, A., Pierrival, H., y Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Anual Reviews in control*, 31, 255-267.

García, L., Pierreval H., Salas, L., y Arauzo, A. (2013). Handling qualitative aspects in Unequal Area Facility Layout Problem: An Interactive Genetic Algorithm, *Applied Soft Computing*, 13, 1718-1727.

Jensen, P. (2004). *Operations Management/ Industrial Engineering Internet*. Macro excel. Layout.xla. Recuperado de:
http://staff.ulsu.ru/semoushin/_index/_pilocus/_gist/docs/mycourseware/9-linprogram/6-tools/simplex-DemoCD/_SIMPLEX-DemoTools/t6/index_omie.html.

Kochhar, J., Foster, B., y Heragu, S. (1998) A genetic algorithm for the unequal area facility layout problem. *Computers operation research*. 25(7/8), 583-594.

Koopmans, Tjalling., Beckmann, Martin. (1957) Assignment Problems and the Location of Economic Activities. *Econometrica*, 25(1), 53-76.

Leyva, M., Mauricio, D., y Salas, J. (2013) Una taxonomía del problema de distribución de planta por procesos y sus métodos de solución. *Revista de la Facultad de Ingeniería industrial UNMSM*, 16(2), 132-143.

Mak, K., Wong, Y., y Chang, F. (1998) A genetic algorithm for facility layout problems. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 11(1-2), 113-127.

Martínez, S., Bernal, J., y Sánchez, J. (2010) Algoritmos genéticos. Un ejemplo con hoja de cálculo. *Universidad Politécnica de Cartagena*.

Matai, R., Singh, S., y Mittal, M. (2010). Facility layout problem: A state-of-the-art review. *Vilakshan: The XIMB Journal of Management*, 7(2), 81-106.

Meller, D., Narayanan. V., y Vence, P. (1999) Optimal facility layout design. *Operations research letters*. 5(23), 117-127.

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

Perez, P. (2016) Evaluación de la distribución especial de plantas industriales mediante un índice de desempeño. *Revista de administración de empresas*, 56(5), 533-546.

Palacios, M., Jaimes, C. (2011) Alternativa de solución al problema de distribución de planta (FLP) para instalaciones de áreas iguales y desiguales mediante un algoritmo híbrido genético. (Trabajo de grado inédito). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Pérez, P., Diéguez, E., y Gómez, O. (2008) Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta. *Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”*.

Rojas, G. (2005) Distribución de planta para una oficina bancaria por medio de algoritmos genéticos. (Trabajo de grado inédito) Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

Sánchez, M., Soberon, M. (2017) Rediseño de distribución en planta para reducir el costo de movimiento de materiales en la empresa de calzado “Paola Della Flores”. (Trabajo de grado inédito). Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Anexos

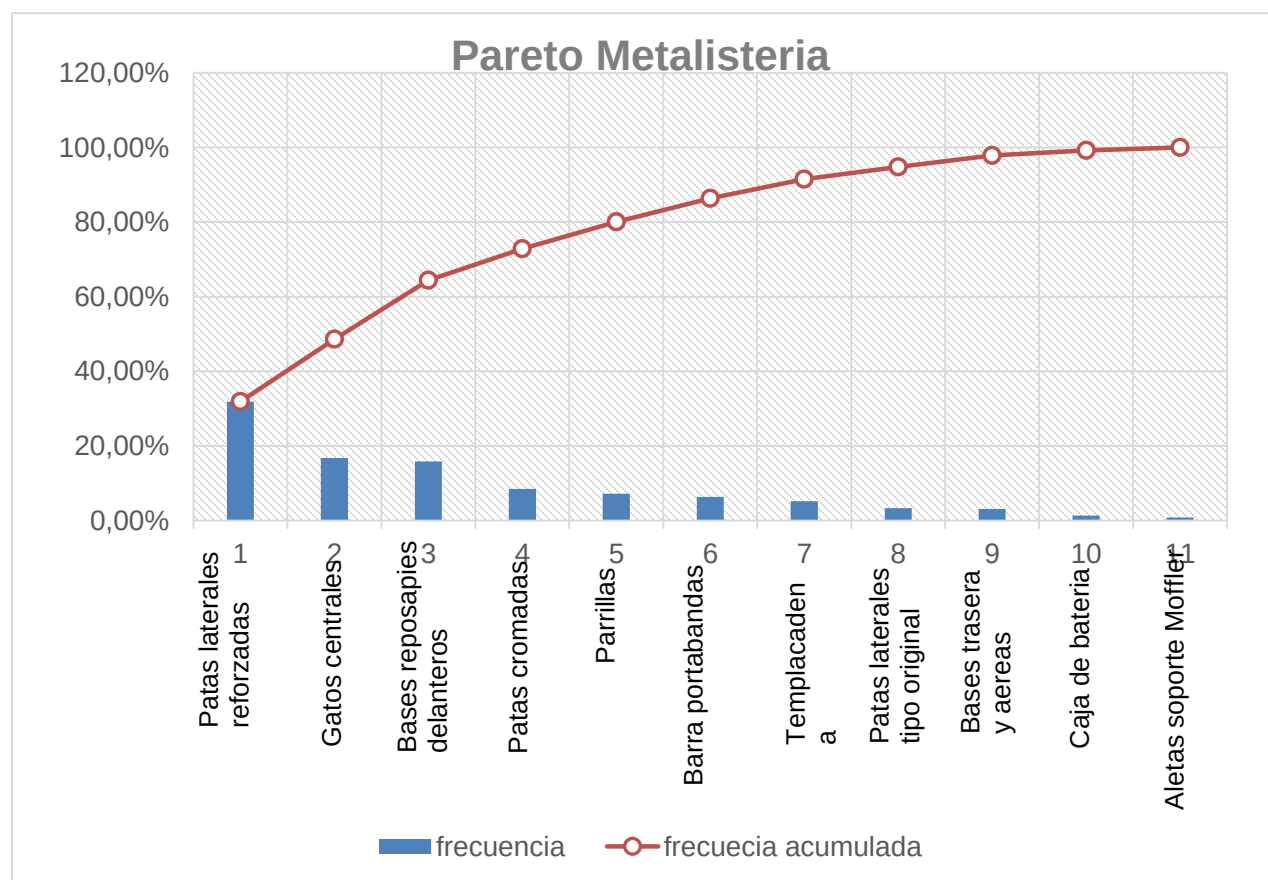
Anexo 1. Familias de producto que fabrica la organización.

AREAS DE TRABAJO	FAMILIAS DE PRODUCTOS
Metalistería:	Patas laterales reforzadas
	Gatos centrales
	Bases reposapiés delanteros
	Patas cromadas
	Parrillas
	Barra porta bandas
	Templa cadena
	Patas laterales tipo original
	Bases traseras y aéreas
	Caja de batería
	Aletas soporte moffler
Vulcanizado:	Bujes encauchetados
	Caucho araña
	Correas para caja de batería
Espuma:	Elementos Filtros de aire con guata
	Repuestos
	Armadas
	Ejes
	Pasador de gato
	Bujes en bronce
	Bujes en acero
	Bujes separadores de rueda
	Separador de balinera

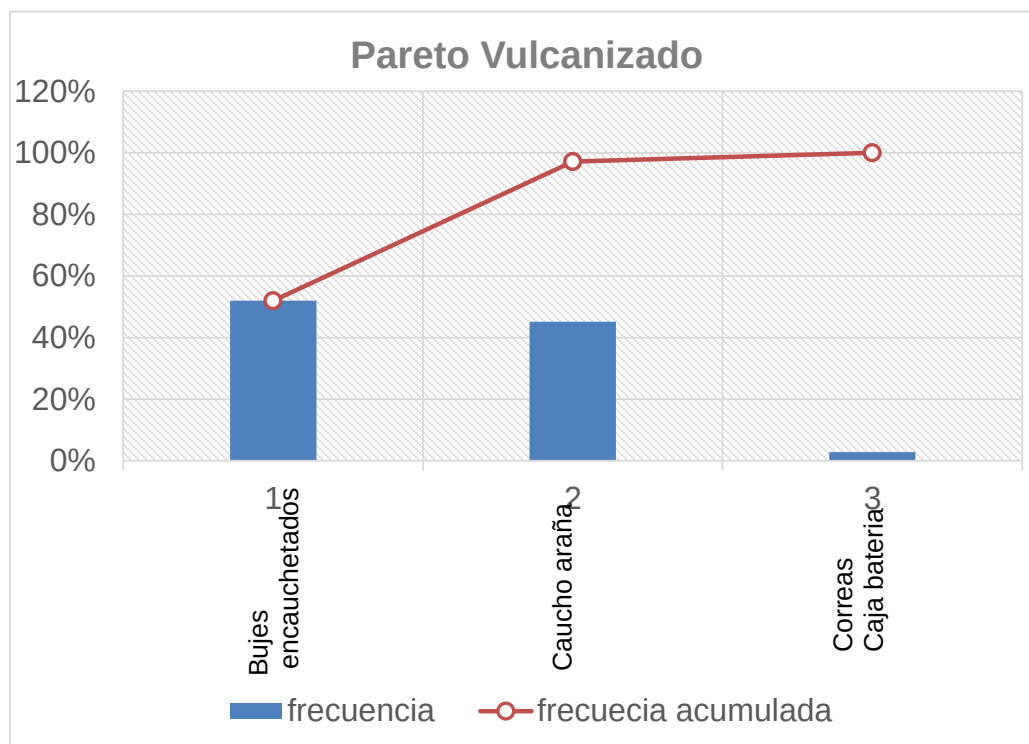
Mecanizado	Buje portasprocket
	Buje ruedas trasera
	Tuerca Colremo (torno r)
	Espárragos (Torno)
	Tornillos (torno r) + pernos
	Media luna
	Tapón carter (torno r)
	Rines
Fundición	Carriles
	Tapas

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2. Pareto familias de producto Metalistería.

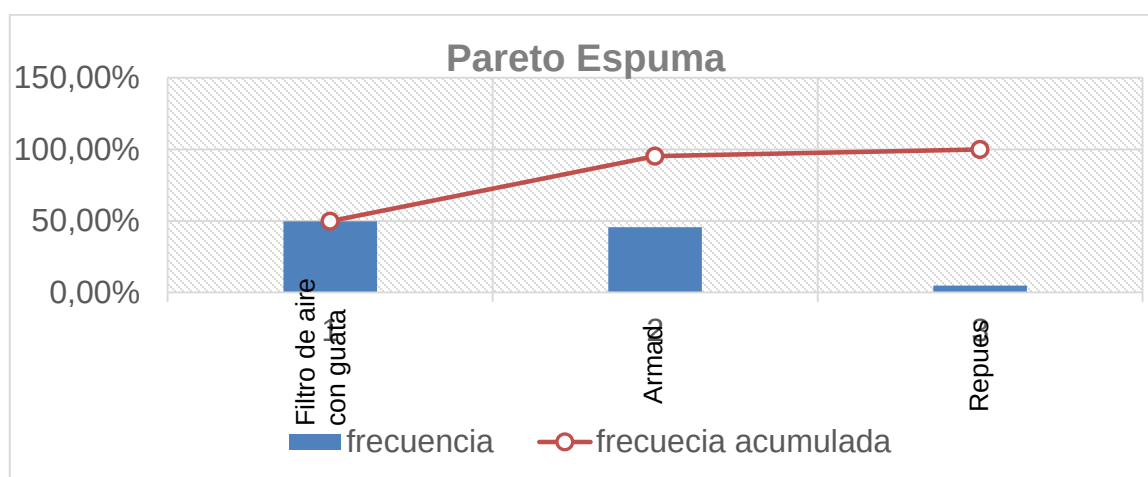


Anexo 3 Pareto familias de producto Vulcanizado.



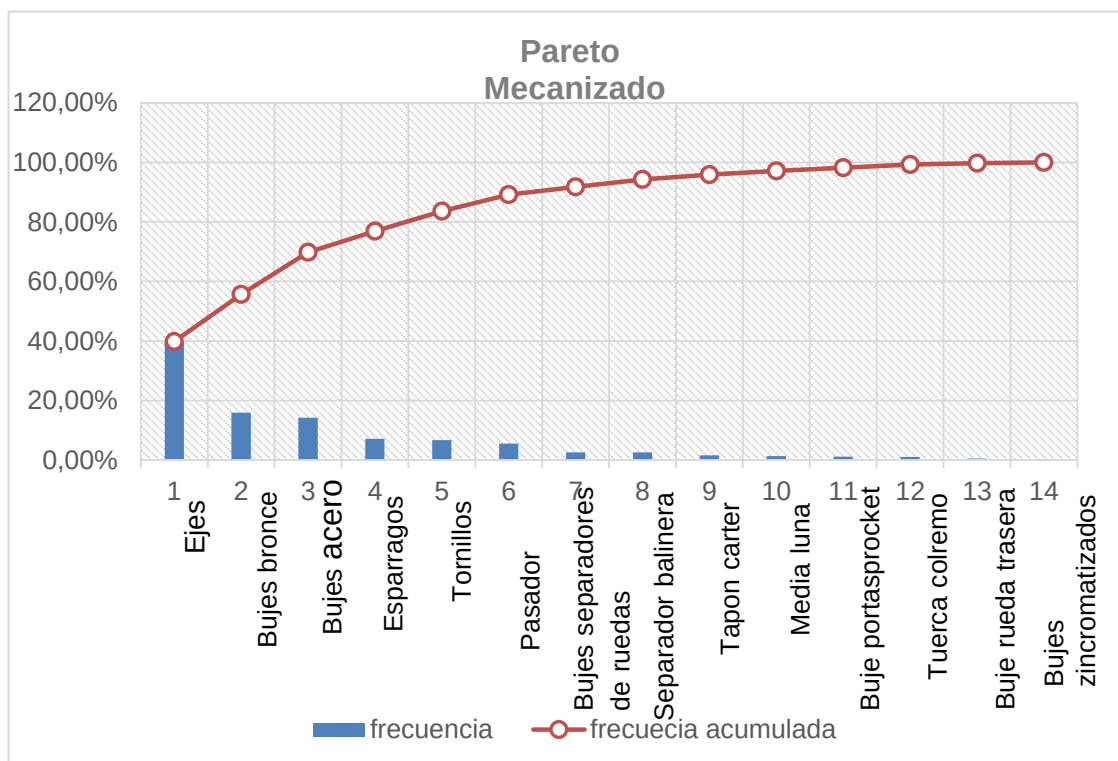
Fuente. Elaboración propia

Anexo 4. Pareto familias de producto Espuma.



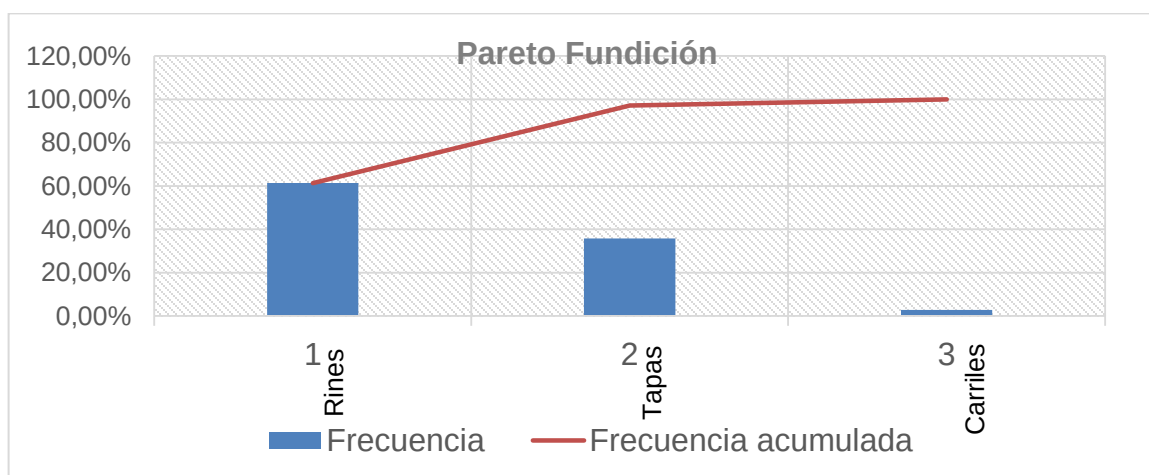
Fuente. Elaboración propia

Anexo 5. Pareto familias de producto Mecanizado.



Fuente. Elaboración propia

Anexo 6. Pareto familias de producto Fundición.



Fuente. Elaboración propia

Anexo 7. Calculo de espacio almacén

Cálculo de espacio almacén

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Armario 1	1	0,71	0,55	0,39	0,39	0,08	0,86
Armario 2	1	0,95	0,34	0,32	0,32	0,06	0,71
Estantería 1	1	1,34	0,48	0,64	0,64	0,13	1,42
Estantería 2	1	1,28	0,84	1,08	1,08	0,22	2,37
Estantería 3	1	2,41	0,63	1,52	1,52	0,30	3,34
Estantería 4	1	2,41	0,63	1,52	1,52	0,30	3,34
Estantería 5	1	1,55	0,51	0,79	0,79	0,16	1,74
Estantería 6	1	1,5	0,58	0,87	0,87	0,17	1,91
Estantería 7	1	1,03	0,27	0,28	0,28	0,06	0,61
Lavamanos	2	0,51	0,39	0,20	0,40	0,06	0,66
Soporte de cajas 1	1	2,41	0,98	2,36	2,36	0,47	5,20
Soporte de cajas 2	1	2,41	0,98	2,36	2,36	0,47	5,20
Soporte de cajas 3	1	2,41	0,98	2,36	2,36	0,47	5,20
Caja tarjeta de entrada	1	0,2	0,19	0,04	0,04	0,01	0,08
Caja Eléctrica	1	0,52	0,22	0,11	0,11	0,02	0,25
Mesa 1	3	2,4	0,79	1,90	5,69	0,76	8,34
Mesa 2	3	2,4	0,79	1,90	5,69	0,76	8,34
Botiquín	1	0,41	0,13	0,05	0,05	0,01	0,12
Ensunchadora	1	0,92	0,59	0,54	0,54	0,11	1,19
Estante computador	1	0,99	0,56	0,55	0,55	0,11	1,22
Estantería canastas 1	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 2	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 3	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 4	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 5	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 6	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 7	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 8	1	2,56	0,63	1,61	1,61	0,32	3,55
Estantería canastas 9	1	0,62	0,4	0,25	0,25	0,05	0,55
Estantería canastas 10	1	0,53	0,41	0,22	0,22	0,04	0,48
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							81,50
<u>superficie actual (m²)</u>							41,50

Fuente. Elaboración propia

Anexo 8. Calculo de espacio oficinas

Cálculo de espacio oficinas

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Archivador 1	1	0,73	0,47	0,34	0,34	0,07	0,75
Archivador 2	1	0,7	0,48	0,34	0,34	0,07	0,74
Archivador 3	1	0,71	0,47	0,33	0,33	0,07	0,73
Estantería oficina 1	1	0,31	0,63	0,20	0,20	0,04	0,43
Estantería oficina 1	1	0,31	0,63	0,20	0,20	0,04	0,43
Estantería oficina 2	1	1,22	0,36	0,44	0,44	0,09	0,97
Estantería oficina 3	1	0,57	0,43	0,25	0,25	0,05	0,54
Estantería de canastas 1	1	0,51	0,39	0,20	0,20	0,04	0,44
Estantería de canastas 2	1	2,41	0,98	2,36	2,36	0,47	5,20
Estantería de canastas 3	1	2,41	0,98	2,36	2,36	0,47	5,20
Repisa documentos 1	1	0,59	0,45	0,27	0,27	0,05	0,58
Repisa documentos 2	1	0,76	0,45	0,34	0,34	0,07	0,75
Escritorio computador 1	1	1,23	0,76	0,93	0,93	0,19	2,06
Escritorio computador 2	1	1,23	0,76	0,93	0,93	0,19	2,06
Escritorio computador 3	1	1,24	0,93	1,15	1,15	0,23	2,54
Escritorio computador 4	1	1,56	0,81	1,26	1,26	0,25	2,78
Escritorio computador 5	1	1,17	0,79	0,92	0,92	0,18	2,03
Escritorio computador 6	1	1,78	0,81	1,44	1,44	0,29	3,17
Escritorio computador 7	1	1,78	0,81	1,44	1,44	0,29	3,17
Escritorio computador 8	1	1,01	0,45	0,45	0,45	0,09	1,00
Escritorio computador 9	1	1,54	0,77	1,19	1,19	0,24	2,61
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							38,18
<u>superficie actual (m²)</u>							22,50

Fuente. Elaboración propia

Anexo 9. Calculo de espacio empaque

Cálculo de espacio empaque

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Mesa de empaque 1	3	1,82	1,20	2,18	6,54	0,87	9,59
Mesa de empaque 2	3	1,82	1,20	2,18	6,54	0,87	9,59
Mesa de empaque 3	3	1,82	1,20	2,18	6,54	0,87	9,59
Cesta emplazable 1	1	0,36	0,46	0,16	0,16	0,03	0,36
Cesta emplazable 2	1	0,36	0,46	0,16	0,16	0,03	0,36
Cesta emplazable 3	1	0,36	0,46	0,16	0,16	0,03	0,36
Cesta emplazable 4	1	0,36	0,46	0,16	0,16	0,03	0,36
Estantería 1	1	1,10	0,26	0,28	0,28	0,06	0,62
Estantería 2	1	1,50	0,53	0,79	0,79	0,16	1,74
Estantería emplazable	1	0,27	0,47	0,13	0,13	0,03	0,28
Estantería madera 1	1	1,51	0,37	0,57	0,57	0,11	1,25
Estantería madera 2	1	2,46	0,39	0,96	0,96	0,19	2,11
Estantería madera 3	1	2,39	0,40	0,96	0,96	0,19	2,11
Estantería madera 4	1	2,30	0,39	0,89	0,89	0,18	1,95
Estantería madera 5	1	2,15	0,41	0,87	0,87	0,17	1,92
Estantería madera 6	1	2,53	0,44	1,10	1,10	0,22	2,42
Estantería madera 7	1	2,40	0,35	0,84	0,84	0,17	1,85
Estantería azul claro	1	2,40	0,35	0,84	0,84	0,17	1,85
Estantería Azul rey	1	0,82	0,30	0,25	0,25	0,05	0,54
Selladora	1	0,41	0,69	0,28	0,28	0,06	0,62
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							49,47
<u>superficie actual (m²)</u>							37,00

Fuente. Elaboración propia

Anexo 10. Calculo de espacio mantenimiento

Cálculo de espacio mantenimiento

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Mesa 1	4	0,74	0,51	0,38	1,51	0,19	2,08
Mesa 2	3	0,87	0,41	0,36	1,07	0,14	1,57
Cajonero 1	1	0,58	0,41	0,24	0,24	0,05	0,52
Cajonero 2	1	0,61	0,43	0,26	0,26	0,05	0,58
Taladro vertical TT-16A	1	0,56	1,375	0,77	0,77	0,15	1,69
Fresadora WKT	1	1,92	1,65	3,17	3,17	0,63	6,97
Torno south bend	1	2,58	1,56	4,02	4,02	0,80	8,85
Bodega insumos		4,60	4,50				20,70
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							42,96
<u>superficie actual (m²)</u>							40,5

Fuente. Elaboración propia

Anexo 11. Calculo de espacio mecanizado

Cálculo de espacio mecanizado

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Prensa hidráulica	1	1,59	1,63	2,59	2,59	0,52	5,70
Complemento Prensa hidráulica	1	0,42	0,30	0,12	0,12	0,02	0,27
Horno	1	1,52	0,72	1,09	1,09	0,22	2,39
Cierra circular	1	5,43	1,51	8,17	8,17	1,63	17,98
Sierra sin fin	1	4,06	1,74	7,04	7,04	1,41	15,50
Taladro vertical	1	0,86	1,31	1,13	1,13	0,23	2,48
Torno 1	1	1,72	1,27	2,18	2,18	0,44	4,79
Torno 2	1	1,50	1,68	2,52	2,52	0,50	5,54
Torno 3	1	1,53	1,67	2,56	2,56	0,51	5,62
Torno 4	1	1,44	1,70	2,45	2,45	0,49	5,39
Torno 5	1	1,43	1,65	2,36	2,36	0,47	5,20
Torno 6	1	2,33	1,58	3,68	3,68	0,74	8,10
Torno 7	1	4,08	1,84	7,51	7,51	1,50	16,52
Torno 8	1	4,79	1,52	7,28	7,28	1,46	16,02
Taladro fresador 1	1	0,53	0,47	0,25	0,25	0,05	0,54
Taladro fresador 2	1	1,02	1,38	1,41	1,41	0,28	3,10
Esmeril 1	1	0,64	0,63	0,40	0,40	0,08	0,88
Esmeril 2	1	0,81	1,05	0,85	0,85	0,17	1,87
Esmeril 3	1	0,65	1,02	0,66	0,66	0,13	1,46
Cajonero 1	1	0,49	0,33	0,16	0,16	0,03	0,36
Cajonero 2	1	0,46	0,30	0,14	0,14	0,03	0,30
Cajonero 3	1	0,32	0,43	0,14	0,14	0,03	0,30
Cajonero 4	1	0,35	0,33	0,11	0,11	0,02	0,25
Cajonero 5	1	0,53	1,02	0,54	0,54	0,11	1,18
Cajonero 6	1	0,49	1,04	0,51	0,51	0,10	1,12
Cajonero 7	1	0,38	0,38	0,14	0,14	0,03	0,32
Estantería 1	1	4,48	0,50	2,24	2,24	0,45	4,93
Estantería 2	1	0,35	0,80	0,28	0,28	0,06	0,62
Estantería 3	1	7,08	0,60	4,25	4,25	0,85	9,35
Pipa de gas	1	0,43	0,43	0,18	0,18	0,04	0,41
Roscador manual	1	1,05	1,50	1,58	1,58	0,32	3,47
Cizalla manual	4	1,02	2,15	2,19	8,75	1,09	12,04
Mesa 1	3	0,49	1,07	0,52	1,56	0,21	2,28
Mesa 2	3	0,48	0,59	0,28	0,84	0,11	1,24
Mesa 3	3	0,37	0,35	0,13	0,38	0,05	0,56
Mesa 4	3	0,42	0,44	0,18	0,55	0,07	0,80
Mesa 5	1	0,94	0,84	0,79	0,79	0,16	1,74
Roscadora automática	1	1,75	1,50	2,61	2,61	0,52	5,75
Tina de enfriamiento ejes 1	4	0,36	0,36	0,13	0,50	0,06	0,69
Tina de enfriamiento ejes 2	4	0,49	0,49	0,24	0,94	0,12	1,29
Armario	1	2,00	0,60	1,20	1,20	0,24	2,64
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							170,96
<u>superficie actual (m²)</u>							114

Fuente. Elaboración propia

Anexo 12. Calculo de espacio metalistería parte 1

Cálculo de espacio metalistería

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Esmeril 1	1	0,81	1,18	0,96	0,96	0,19	2,10
Esmeril 2	1	1,21	1,44	1,74	1,74	0,35	3,83
Esmeril 3	1	0,92	1,08	0,99	0,99	0,20	2,19
Esmeril 4	1	0,56	0,48	0,27	0,27	0,05	0,59
Estantería 1	1	0,32	2,44	0,78	0,78	0,16	1,72
Estantería 2	1	0,66	1,99	1,31	1,31	0,26	2,89
Estantería 3	1	0,51	0,57	0,29	0,29	0,06	0,64
Estantería 4	1	0,47	0,49	0,23	0,23	0,05	0,51
Estantería 5	1	0,46	3,05	1,40	1,40	0,28	3,09
Estantería 6	1	1,43	0,62	0,89	0,89	0,18	1,95
Estantería 7	1	2,08	0,40	0,83	0,83	0,17	1,83
Estantería 8	1	1,36	0,64	0,87	0,87	0,17	1,91
Mesa con cizalla manual	1	1,53	1,84	2,82	2,82	0,56	6,19
Mesa con taladro vertical	1	1,30	1,59	2,07	2,07	0,41	4,55
Mesa 1	1	0,48	1,23	0,59	0,59	0,12	1,30
Mesa 2	1	0,86	1,88	1,62	1,62	0,32	3,56
Mesa 3	1	2,41	1,08	2,59	2,59	0,52	5,70
Mesa 5	1	0,94	0,88	0,83	0,83	0,17	1,82
Mesa 6	1	1,05	1,91	2,01	2,01	0,40	4,41
Mesa 7	1	0,68	0,41	0,28	0,28	0,06	0,61
Mesa 8	1	1,29	0,90	1,15	1,15	0,23	2,54
Mesa 9	1	0,27	0,91	0,25	0,25	0,05	0,54
Mesa 10	1	1,25	0,81	1,01	1,01	0,20	2,23
Armario 1	1	0,95	0,44	0,42	0,42	0,08	0,92
Armario 3	1	0,72	0,61	0,44	0,44	0,09	0,97
Cajonero 1	1	0,66	0,35	0,23	0,23	0,05	0,51
cajonero 2	1	0,82	0,87	0,71	0,71	0,14	1,57
Prensa hidráulica 1	1	1,23	1,46	1,80	1,80	0,36	3,95
Soldador de punto	1	1,10	0,65	0,72	0,72	0,14	1,57
Campana corte plasma	1	1,87	2,12	3,96	3,96	0,79	8,72
Taladro 1	1	1,21	0,61	0,74	0,74	0,15	1,62
Compresor 1	1	1,41	0,75	1,06	1,06	0,21	2,33
Compresor 2	1	1,26	1,11	1,40	1,40	0,28	3,08
Ranuradora	1	1,04	1,13	1,18	1,18	0,24	2,59

Fuente. Elaboración propia

Anexo 13. Calculo de espacio metalistería parte 2

Dobladora manual	1	2,56	2,60	6,66	6,66	1,33	14,64
GEKA	1	1,32	1,76	2,32	2,32	0,46	5,11
Soporte materia prima	1	0,77	6,43	4,95	4,95	0,99	10,89
Tanque inmersión	1	0,65	0,65	0,42	0,42	0,08	0,93
Soporte escurrido	1	1,98	0,54	1,07	1,07	0,21	2,35
Soldador miller M252	1	1,15	0,44	0,50	0,50	0,10	1,11
Soldador miller M256	1	1,31	0,49	0,64	0,64	0,13	1,41
Prensa con soporte	1	0,85	0,52	0,44	0,44	0,09	0,96
Dispensador de agua	1	1,43	0,39	0,56	0,56	0,11	1,23
Carreta de transporte	1	1,02	0,63	0,64	0,64	0,13	1,41
Campana de pintura	1	2,36	1,76	4,15	4,15	0,83	9,14
Horno grande	1	1,63	1,13	1,84	1,84	0,37	4,05
Bidón	1	0,62	0,62	0,38	0,38	0,08	0,85
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							138,61
<u>superficie actual (m²)</u>							123,75

Fuente. Elaboración propia

Anexo 14. Calculo de espacio galvanizado y fosfatado

Elemento	N	Largo (L)	Ancho (A)	SS	SG	SE	ST
Baño almacén	1	1,36	2,68	3,64	3,64	0,73	8,02
Tanque 1	1	1,99	1,99	3,96	3,96	0,79	8,71
Tanque 2	1	0,68	0,94	0,64	0,64	0,13	1,41
Mesa 1	1	1,07	0,65	0,69	0,69	0,14	1,52
Tina 1	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 2	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 3	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 4	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 5	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 6	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 7	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 8	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 9	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 10	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 11	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 12	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 13	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 14	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 15	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Tina 16	1	0,44	0,44	0,19	0,19	0,04	0,43
Horno 1	1	0,62	0,62	0,38	0,38	0,08	0,85
Horno 2	1	0,62	0,62	0,38	0,38	0,08	0,85
Horno 3	1	0,62	0,62	0,38	0,38	0,08	0,85
Estantería 1	1	1,54	1,01	1,56	1,56	0,31	3,42
Generador	1	0,71	0,71	0,50	0,50	0,10	1,11
Pipa gas 1	1	0,39	0,39	0,15	0,15	0,03	0,33
Pipa gas 2	1	0,39	0,39	0,15	0,15	0,03	0,33
Pipa gas 3	1	0,39	0,39	0,15	0,15	0,03	0,33
Centrifuga	1	1,50	0,71	1,06	1,06	0,21	2,33
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							36,85
<u>superficie actual (m²)</u>							52,5

Fuente. Elaboración propia

Anexo 15. Calculo de espacio espuma

Cálculo de espacio espuma

Elemento	N	Largo (L)	Ancho (A)	SS	SG	SE	ST
Mesa 1	4	1,65	0,99	1,63	6,50	0,81	8,94
Mesa 2	4	0,55	0,37	0,20	0,81	0,10	1,12
Mesa 3	4	2,58	1,10	2,83	11,33	1,42	15,58
Armario 1	1	1,06	0,59	0,62	0,62	0,12	1,37
Prensa hidráulica	1	0,95	0,83	0,79	0,79	0,16	1,73
casillero	1	0,32	0,31	0,10	0,10	0,02	0,22
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							28,96
<u>superficie actual (m²)</u>							20,25

Fuente. Elaboración propia

Anexo 16. Calculo de espacio fundición

Cálculo de espacio fundición

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Cuarto de pulido		4,60	4,50				20,70
Cuarto fundición		4,60	4,50				20,70
Área de fundición		4,60	4,50				20,70
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							62,10
<u>superficie actual (m²)</u>							60,75

Fuente. Elaboración propia

Anexo 17. Calculo de espacio vulcanizado

<u>Elemento</u>	<u>N</u>	<u>Largo (L)</u>	<u>Ancho (A)</u>	<u>SS</u>	<u>SG</u>	<u>SE</u>	<u>ST</u>
Taladro fresador	1	1,06	1,49	1,58	1,58	0,32	3,47
Estantería 1	1	0,49	1,23	0,60	0,60	0,12	1,32
Estantería 2	1	1,16	0,68	0,79	0,79	0,16	1,73
Prensa hidráulica 1	1	1,35	1,51	2,03	2,03	0,41	4,47
Prensa hidráulica 2	1	1,28	1,31	1,67	1,67	0,33	3,68
Molino	1	1,37	1,73	2,37	2,37	0,47	5,21
Prensa manual	1	0,65	1,20	0,78	0,78	0,16	1,71
Mesa 1	2	1,34	0,57	0,76	1,53	0,23	2,52
Mesa 2	2	1,46	0,78	1,14	2,28	0,34	3,76
Mesa 3	2	1,41	0,73	1,03	2,06	0,31	3,40
Mesa 4	2	0,50	0,38	0,19	0,38	0,06	0,63
Armario	1	0,70	0,51	0,35	0,35	0,07	0,77
<u>Superficie Total calculada (m²)</u>							32,67
<u>superficie actual (m²)</u>							20,25

Fuente. Elaboración propia

Anexo 18. Matriz prioridad para las propuestas SLP

Matriz prioridad para las propuestas SLP

<u>DEPARTAMENTOS</u>	<u>OE</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
OFICINAS (OF)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MECANIZADO (MC)		-	4	0	-1	0	0	0	0	2
GALVANIZADO Y FOSFATADO (GF)			-	-1	-1	2	-1	4	0	1
METALISTERIA (MT)				-	-1	1	0	4	0	1
FUNDICION (FU)					-	-1	-1	3	0	1
VULCANIZADO (VU)						-	0	2	0	1
ESPUMAS (ES)							-	1	0	1
EMPAQUE (EM)								-	4	0
ALMACEN (AL)									-	0
MANTENIMIENTO (MA)										-

Anexo 19. Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 1 SLP

Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 1 SLP

<u>Departamentos</u>	<u>OE</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
Oficinas (OF)	-	16	0	21	68	2	10	0	6	50
Mecanizado (MC)		-	0	0	4	0	5	16	18	0
Galvanizado y fosfatado (GF)			-	8	51	0	8	0	9	34
Metalistería(MT)				-	5	0	0	12	12	8
Fundición (FU)					-	51	55	67	68	3
Vulcanizado (VU)						-	0	0	1	35
Espuma (ES)							-	1	0	47
Empaque (EM)								-	0	51
Almacén (AL)									-	60
Mantenimiento (MA)										-

Fuente. Elaboración propia

Anexo 20. Eficacia propuesta 1 SLP

Eficacia propuesta 1 SLP

<u>Departamentos</u>	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>	
Oficinas (OF)	-	16	0	21	68	2	10	0	6	50	173
Mecanizado (MC)		-	0	0	-4	0	0	0	0	0	-4
Galvanizado y fosfatado (GF)			-	-8	-51	0	-8	0	0	34	-33
Metalistería(MT)				-	-5	0	0	48	0	8	51
Fundición (FU)					-	-51	-55	201	0	3	98
Vulcanizado (VU)						-	0	0	0	35	35
Espuma (ES)							-	1	0	47	48
Empaque (EM)								-	0	0	0
Almacén (AL)									-	0	0
Mantenimiento (MA)										-	0
									<u>Eficacia</u>		368

Fuente. Elaboración propia

Anexo 21. Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 2 SLP

Distancia rectangular en cuadrículas propuesta 2 SLP

<u>DEPARTAMENTOS</u>	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>
Oficinas (OF)	-	1	9	0	67	15	60	0	9	59
Mecanizado (MC)		-	0	0	6	0	0	0	2	3
Galvanizado y fosfatado (GF)			-	56	50	0	36	0	0	56
Metalistería(MT)				-	6	9	5	1	10	0
Fundición (FU)					-	35	3	65	65	2
Vulcanizado (VU)						-	21	16	15	42
Espuma (ES)							-	52	51	8
Empaque (EM)								-	0	62
Almacén (AL)									-	71
Mantenimiento (MA)										-

Fuente. Elaboración propia

Anexo 22. Eficacia propuesta 2 SLP

Eficacia propuesta 2 SLP

<u>DEPARTAMENTOS</u>	<u>OF</u>	<u>MC</u>	<u>GF</u>	<u>MT</u>	<u>FU</u>	<u>VU</u>	<u>ES</u>	<u>EM</u>	<u>AL</u>	<u>MA</u>	
Oficinas (OF)	-	1	9	0	67	15	60	0	9	59	220
Mecanizado (MC)		-	0	0	-6	0	0	0	0	6	0
Galvanizado y fosfatado (GF)			-	-56	-50	0	-36	0	0	56	-86
Metalistería(MT)				-	-6	9	0	4	0	0	7
Fundición (FU)					-	-35	-3	195	0	2	159
Vulcanizado (VU)						-	0	32	0	42	74
Espuma (ES)							-	52	0	8	60
Empaque (EM)								-	0	0	0
Almacén (AL)									-	0	0
Mantenimiento (MA)										-	0
									<u>EFICACIA</u>		434

Fuente. Elaboración propia