

REDUCCIÓN DE COSTOS POR MANEJO DE MATERIALES USANDO UNA  
DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PROCESO

ALEJANDRO PÉREZ CORTÉS  
GONZALO ANDRÉS GÓMEZ VALLEJO

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

2019

REDUCCIÓN DE COSTOS POR MANEJO DE MATERIALES USANDO UNA  
DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PROCESO.

ALEJANDRO PÉREZ CORTÉS  
GONZALO ANDRÉS GÓMEZ VALLEJO

Trabajo de grado para optar al título de:  
INGENIERO INDUSTRIAL

Director:  
ING. ALVARO TORRES PENAGOS

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

2019

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre por su apoyo, a mi abuela por su acompañamiento, a mi esposa Marcela Ramírez por su resiliencia y a mi compañero Gonzalo Gómez por su incondicionalidad. Todo esto junto me lleva hoy a cumplir con una de mis metas, por esto y mucho más, gracias, mil gracias.

Alejandro Pérez

A mi familia, al cuerpo docente de la Universidad del Valle sede Buga, a mi compañero Alejandro y la empresa Somec S.A. por permitirnos realizar este trabajo.

Gonzalo Gómez

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	10
3	OBJETIVOS.....	13
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4	JUSTIFICACIÓN.....	14
5	ALCANCE .....	15
6	MARCO TEORICO .....	16
6.1	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	16
6.1.1	PRINCIPIOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	16
6.2	TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	17
6.2.1	DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PROCESO .....	17
6.2.2	DISTRIBUCIÓN DE POSICIÓN FIJA.....	17
6.2.3	DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PRODUCTO.....	18
6.2.4	DISTRIBUCIÓN POR CELULAS DE TRABAJO.....	19
7	ESTADO DEL ARTE .....	20
7.1	HEURISTICAS .....	20
7.2	MODELO SLP .....	22
7.3	MODELO DE LA TEORÍA DE GRAFOS .....	23
7.4	MODELOS DE PROGRAMACIÓN ENTERA MIXTA .....	23
8	METODOLOGÍA .....	25
8.1	ACTIVIDADES.....	25
9	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....	26
9.1	DESCRIPCIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO .....	27
9.1.1	Materia prima y producto terminado.....	27
9.1.2	Corte.....	27
9.1.3	Doblado.....	27
9.1.4	Maquinado.....	28
9.1.5	Armado y soldadura.....	28
9.1.6	Acabado .....	28
10	DIAGNÓSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE LA EMPRESA .....	31

10.1	ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN .....	31
10.2	REQUERIMIENTOS DE ESPACIO EN AREAS POR EQUIPOS .....	32
10.3	ANÁLISIS DE TRANSPORTE DE MATERIALES ENTRE ÁREAS .....	33
10.4	COSTOS DE TRANSPORTE DE MATERIALES .....	35
10.5	DISTANCIA ENTRE DEPARTAMENTOS .....	37
10.6	MATRIZ DE COSTOS DE TRANSPORTE PARA LA DISTRIBUCIÓN INICIAL .	40
10.7	RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	41
11	GENERACION DE DISEÑOS CANDIDATOS PARA LA REDISTRIBUCIÓN .....	42
11.1	DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISTRIBUCIÓN .....	44
12	RESULTADOS.....	53
13	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	55
14	CONCLUSIONES .....	57
15	REFERENCIAS.....	59
16	ANEXOS .....	62
16.1	TABLA DE PRODUCTOS FABRICADOS EN EL ÚLTIMO AÑO.....	62
16.2	REQUERIMIENTOS DE ESPACIO POR ÁREAS.....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografías de la planta de SOMEC .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 2. Productos fabricados por SOMEC S.A. ....	26
Figura 3. Diagrama de flujo de SOMEC. S.A. ....	30
Figura 4. Diagrama de recorrido actual de los productos .....	32
Figura 5. Coordenadas de la distribución inicial.....	38
Figura 6. Diagrama de relación de actividades .....	43
Figura 7. Diagrama de hilos.....	44
Figura 8. Distribución mejorada con SLP.....	45
Figura 9. Distribución mejorada con CRAFT .....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de áreas por máquinas .....	33
Tabla 2. Movimiento de materiales entre áreas para Estructuras Metálicas .....	34
Tabla 3. Movimiento de materiales entre áreas para Tanques.....	34
Tabla 4. Movimiento de materiales entre áreas para Accesorios .....	35
Tabla 5. Costo de transporte en puente grúa y manual .....	36
Tabla 6. Matriz de costos de transporte por cantidad de movimientos (flujo) (\$/m-año) .....	37
Tabla 7. Coordenadas de los centros de gravedad.....	39
Tabla 8. Distancias entre departamentos.....	40
Tabla 9. Costo de los movimientos .....	41
Tabla 10. Matriz de distancias (SLP) .....	46
Tabla 11. Matriz de costo total (SLP) .....	46
Tabla 12. Matriz de costos AS-M .....	47
Tabla 13. Matriz de costos M-C .....	47
Tabla 14. Matriz de costos A-C.....	47
Tabla 15. Matriz de costos AS-C .....	48
Tabla 16. Matriz de costos D-C.....	48
Tabla 17. Matriz de costos D-M .....	48
Tabla 18. Distancias entre departamentos (CRAFT).....	50
Tabla 19. Matriz de costos (CRAFT).....	50
Tabla 20. Matriz de costos D-M .....	51
Tabla 21. Matriz de costos D-A.....	51
Tabla 22. Matriz de costos D-AS .....	51
Tabla 23. Matriz de costos M-A .....	52



## 1 INTRODUCCIÓN

Las necesidades que promueven el desarrollo de un proyecto de distribución de planta pueden comprender desde el diseño de una planta totalmente nueva hasta la redistribución de una ya existente. El objetivo principal del diseño de instalaciones consiste en crear un sistema de producción ordenado que elabore productos de calidad a bajo costo. Los problemas de distribución para el diseño de una planta totalmente nueva son más estudiados que los problemas de mejoramiento de plantas ya existentes, sin embargo, estos últimos se presentan con mayor frecuencia; pues Meyers & Stephens (2006) aseguran que en promedio, cada 18 meses ocurren redistribuciones importantes en plantas, como resultado de modificaciones en el diseño del producto, métodos, materiales y procesos.

El problema abordado en el presente proyecto es sobre redistribución de planta de una instalación ya existente, debido a que la planeación inicial se realizó hace ya varios años y desde allí no se ha modificado, el crecimiento de pedidos ha generado aumento en los inventarios y en la cantidad de movimientos y materiales en del área de producción. El problema de manejo de materiales y espacios, ha generado en la organización largos tiempos de procesamiento, debido a las excesivas distancias a recorrer en el flujo de trabajo y a la ocupación de espacios con materia prima, producto terminado y residuos de materiales en zonas de alto tráfico de operarios. A través del proyecto se busca diseñar una propuesta de mejoramiento para la distribución de planta en la empresa caso de estudio, con el fin de contribuir al orden de las áreas de trabajo y equipos utilizados, lo cual contribuya al mejoramiento de las operaciones y a la reducción de costos por manejo de materiales. Para ello, la metodología del proyecto se dividirá en tres ejes específicos en los que se centrará el trabajo de investigación. El primero de ellos se enfoca en el diagnóstico de condiciones iniciales del área de producción, el segundo objetivo consiste en la identificación de las necesidades actuales de la empresa dándole espacio al tercer y último objetivo que busca evaluar los resultados obtenidos con la propuesta de

mejora con base en la reducción de los costos por manejo de materiales y de esta manera desarrollar la propuesta final del rediseño del *Layout*.

La sección 1 contempla la descripción del problema de investigación, la sección 2 plantea los objetivos que se desean alcanzar en el caso de estudio, la sección 3 y 4 hacen referencia a la justificación y alcance respectivamente del proyecto, en la sección 5 se revisa el marco teórico, en la sección 6 se describe el estado del arte de la investigación y en la sección 7 se muestra la metodología que se utilizará para el desarrollo de las actividades necesarias para resolver el problema.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa SOMEK S.A. es una Pyme perteneciente a la industria metalmeccánica que ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años; la demanda cambiante y la constante competencia con empresas de la misma índole, exige la búsqueda de un mayor aprovechamiento de los recursos con el fin de ofrecer, producir y distribuir de manera rápida y eficiente, brindando al cliente el mejor servicio.

El crecimiento de pedidos ha generado aumento en los inventarios y en la cantidad de movimientos y materiales, representando una dificultad para la empresa teniendo en cuenta que la mayoría de productos que se fabrican inician su proceso pasando del área de materia prima al área de corte y deben recorrer 16 metros (distancia rectangular), lo que resulta un trayecto considerable ya que la planta tiene un área de 22 x 15 metros, esto genera a su vez largos tiempos de procesamiento y retrasos en la entrega puntual de los pedidos, durante el último año se ha incumplido con el 37% de los tiempos de entrega pactados con los clientes debido a la gran cantidad de tiempo que invierten los operarios desplazándose entre las diferentes áreas de la planta.

La ocupación irracional de espacio con materia prima, producto terminado y residuos de materiales en las zonas transitadas por los operarios, causan la mayoría de accidentes laborales. Según la encargada del sistema de seguridad y salud en el trabajo, el 26% de los accidentes ocurridos en el último año fueron clasificados como caídas al mismo nivel, debido a la falta de control que implica el ordenamiento físico de todos los elementos industriales, incluyendo los espacios necesarios para movilizar el material, áreas de almacenamiento y la falta de señalización de las áreas.

Según Muther (1970) la selección del diseño definitivo para la distribución de Planta tiene en cuenta uno o varios de los siguientes factores: la reducción de costos, eliminación o control de desperdicios, reducción de distancias de transporte

(materiales, herramientas, productos y personas); aprovechamiento del espacio cúbico, mejora de la satisfacción y seguridad del personal, y mejora en la flexibilidad para cambio de referencias a producir. En el caso de estudio, la inadecuada ubicación de las máquinas y/o las áreas de trabajo en la planta hace que tanto los trabajadores como la materia prima tengan que recorrer grandes distancias durante el proceso de producción, generando incomodidad y desorden en el desarrollo de las actividades específicas de los obreros, ya que existe interferencia entre las distintas áreas de trabajo y los pasillos permanecen ocupados con materiales o herramientas como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Fotografías de la planta de SOMEK



La empresa SOMEK S.A. no presenta una distribución o configuración típica que permita minimizar movimientos innecesarios, reducir costos de transporte y situar los departamentos más interrelacionados de forma adyacente.

Lo anterior evidencia un problema de distribución que no permite un flujo eficaz y adecuado del proceso productivo, generando reprocesos que aumentan los costos y los tiempos de entrega.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer una redistribución de planta de la empresa SOMEK S.A. que permita ordenar los equipos y las áreas de trabajo para mejorar el flujo de materiales y reducir costos en el manejo de los mismos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un diagnóstico de la distribución actual del área de producción de la planta.
- Identificar y analizar mejoras en el proceso de producción, que permitan detectar configuraciones óptimas con respecto a la distribución actual.
- Evaluar los resultados de la redistribución con base en la reducción de costos por manejo de materiales.

## 4 JUSTIFICACIÓN

El principal interés en la realización de este trabajo es solucionar el problema de operaciones presentado en un caso de estudio, en el que una planta del sector metalmecánico ha tenido un crecimiento desordenado y se ha visto afectada en su productividad y eficiencia, generando sobrecostos principalmente por la mala distribución de equipos y áreas de trabajo.

Este problema es común en pequeñas y medianas empresas manufactureras y generalmente no se le da la importancia necesaria, sin embargo puede llegar a reducir la eficiencia de sus operaciones, aumentar los costos de fabricación y afectar la supervisión y control de los procesos debido a los cambios a través del tiempo. La implementación de una distribución en planta apropiada es una de las tareas más significativas y una de las más críticas para mejorar el proceso de producción dentro de la empresa. Heizer y Render (2009). Los principales problemas en la distribución en planta surgen cuando éstos estudios son realizados sin demasiada importancia, ignorando los objetivos y metas a mediano y largo plazo. Por lo general se diseñan distribuciones para las condiciones de inicio, sin embargo a medida que la organización crece y se producen cambios, estas se vuelven deficientes y conllevan a gastos y pérdidas acumulativas que se hacen muy difíciles de detener, ya que el costo de cambiar una distribución establecida suele ser demasiado grande.

Aquí radica la importancia de realizar un eficiente diseño de distribución en planta, ya que el principal beneficiado será la empresa, además de sus trabajadores y clientes, permitiendo un mejor funcionamiento de toda la organización.

El presente trabajo pretende, además, servir de guía para la ejecución de un plan de mejoramiento en empresas con características similares que deseen aprovechar sus capacidades productivas a través de la distribución en planta adecuada.

## **5 ALCANCE**

En este trabajo se pretende identificar mejoras en el área de producción de la empresa SOMEK S.A. donde se determinen los procesos actuales de la planta, específicamente los procesos relacionados con los flujos y manejo de materiales, con el fin de detectar los posibles errores en la distribución actual del área de producción, procurando aumentar la eficiencia en las operaciones a través de la reducción de costos en el manejo de materiales.

Este proyecto incluye la creación de métodos de trabajo que aborden el problema planteado y a su vez el diseño de un cronograma que sea un indicador del cumplimiento de los objetivos propuestos.

Se propondrá una solución viable que pueda ser implementada por la empresa y finalmente se evaluará la factibilidad de la misma teniendo en cuenta las restricciones de espacio, las que puedan generar los procesos y obviamente los objetivos de la compañía.



## 6 MARCO TEORICO

### 6.1 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Koopmans & Beckamnn (1957) fueron los primeros en definir la distribución en planta como un problema, en donde el objetivo es ubicar instalaciones dentro de un área dada y minimizar el costo de transporte de material entre las mismas. El diseño de la distribución debe tener en cuenta metodologías que logren alcanzar:

- Mayor utilización de espacio, equipos y personas
- Mejor flujo de información, materiales y personas
- Mejor ánimo de los empleados y condiciones de trabajo más seguras
- Mejor interacción con el cliente
- Flexibilidad (cualquiera que sea la distribución actual deberá cambiar)

#### 6.1.1 PRINCIPIOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La mayoría de distribuciones en planta se diseñan eficientemente al empezar su funcionamiento, pero a medida que pasa el tiempo las organizaciones crecen y se ven obligadas a adaptarse a los cambios que suceden tanto interna como externamente de ellas. Por ejemplo, al aumentar el volumen de producción se hace indispensable un mayor aprovechamiento del espacio, la adquisición de nuevos equipos o la variación constante de los procesos influyen en el flujo de materiales, más demanda de mano de obra, así como la necesidad de nuevas instalaciones y/o equipos.

Para obtener una distribución en planta eficaz se debe considerar seis principios:

- Principio de la integración de conjunto
- Principio de la mínima distancia recorrida
- Principio de la circulación o recorrido
- Principio del espacio cúbico
- Principio de satisfacción y seguridad
- Principio de flexibilidad

La distribución de una planta que realiza diferentes procesos para cada producto debe considerar la flexibilidad como principio más importante ya que se pierde demasiado dinero al no poder adaptar sistemas productivos con agilidad de responder a los cambios constantes del entorno en el cual se desenvuelve la organización.

## **6.2 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA**

### **6.2.1 DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PROCESO**

Puede manejar en forma simultánea una amplia variedad de productos o servicios. Resulta más eficiente cuando se elaboran productos con distintos requerimientos o cuando se manejan clientes con distintas necesidades. Por lo general, una distribución orientada al proceso es la estrategia de bajo volumen y alta variedad. En este entorno de taller de trabajo, cada producto o cada pequeño grupo de productos pasan una secuencia de operaciones distinta. Un producto o pedido pequeño se fabrica llevándolo de un departamento a otro en la secuencia requerida para ese producto.

Una gran ventaja de la distribución orientada al proceso es su flexibilidad para la asignación de equipo y mano de obra. Las desventajas de la distribución orientada al proceso provienen del uso de propósito general del equipo, los pedidos toman más tiempo para moverse a través del sistema debido a su difícil programación, las cambiantes preparaciones y el manejo único de materiales. Además, el equipo de propósito general requiere mano de obra calificada y grandes inventarios de trabajo en proceso debido a la falta de balanceo en el proceso de producción. La mano de obra calificada también aumenta el nivel de capacitación y experiencia requerido, además los altos niveles de inventario de trabajo en proceso incrementan la inversión de capital

### **6.2.2 DISTRIBUCIÓN DE POSICIÓN FIJA**

El proyecto permanece en un lugar y los trabajadores y el equipo llegan a esa área de trabajo. Ejemplos de este tipo de proyecto son un barco, una carretera, un puente, una casa y una mesa de operaciones en un quirófano.

Debido a que es difícil encontrar una buena solución a los problemas de distribución de posición fija en el sitio, una estrategia alternativa consiste en completar una parte sustancial del proyecto fuera del lugar. Este enfoque se usa en la industria de la construcción de barcos cuando se ensamblan unidades estándar

### **6.2.3 DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PRODUCTO**

Esta distribución se lleva a cabo organizando los departamentos alrededor de productos o familias de productos similares de alto volumen y baja variedad. La producción repetitiva y la producción continua, usan distribuciones orientadas al producto. Los supuestos son que:

- El volumen es adecuado para la utilización exhaustiva del equipo.
- La demanda del producto es lo suficientemente estable como para justificar una gran inversión en equipo especializado.
- El producto es estandarizado o se acerca a una fase de su ciclo de vida que justifica la inversión en equipo especializado.
- El suministro de materias primas y componentes es adecuado y de calidad uniforme (apropiadamente estandarizado) para asegurar que funcionará con el equipo especializado.

Al garantizar un movimiento rectilíneo del material, esta distribución permite duplicar equipo o departamentos y tener tiempos más rápidos de ciclo, aunque las líneas de transferencia son costosas e inflexibles y obstaculizan el espacio cuando se requieren cambios en el flujo del proceso.

Las ventajas principales de la distribución orientada al producto son:

- El bajo costo variable por unidad usualmente asociado con los productos estandarizados de alto volumen
- Bajos costos por manejo de materiales
- La reducción de inventarios de trabajo en proceso
- Facilidad de capacitación y supervisión

Volumen de producción rápida a través de las instalaciones.

#### **6.2.4 DISTRIBUCIÓN POR CELULAS DE TRABAJO**

Reorganiza personas y máquinas, que generalmente estarían dispersas en diferentes departamentos en un grupo, de manera que se puedan enfocar en la fabricación de un solo producto o de un grupo de productos relacionados. Los arreglos en células de trabajo se usan cuando el volumen justifica un arreglo especial de maquinaria y equipo. En un entorno de manufactura, la tecnología de grupos identifica productos con características similares y permite que se procesen en una célula de trabajo particular. Las ventajas de las células de trabajo son:

- Reducción del inventario de trabajo en proceso porque la célula de trabajo se establece para proporcionar flujo de una pieza de máquina a máquina.
- Menos espacio de piso en la planta porque se necesita menos espacio entre las máquinas para acomodar el inventario de trabajo en proceso.

## 7 ESTADO DEL ARTE

Para el problema de distribución en planta (FLP), por sus siglas en inglés (Facility Layout Problem) el objetivo más común utilizado en los modelos matemáticos es minimizar el costo de manipulación de los materiales, que es un factor cuantitativo. Estos incluyen todo lo relacionado con: personal, material, supervisión, seguros, depreciación, etc. Heizer y Render (2009) definieron el costo por manejo de materiales como todos los costos relacionados con la transacción, el transporte, manipulación, almacenamiento y salida de los materiales que se almacenarán. La planificación eficaz de las instalaciones podría reducir los costos de dicho manejo. También se pueden considerar factores cualitativos como la seguridad de la planta, flexibilidad de diseño para futuros cambios de diseño, ruido y estética.

Las plantas de manufactura se diseñan con base en sus requerimientos iniciales, pero estas plantas requieren reorganización en su diseño cada 18 meses en promedio, ya que realizan constantes cambios en los productos, métodos, materiales y procesos. Para la reorganización existen diversos métodos de distribución en planta basados en las condiciones iniciales del diseño.

Entre los métodos existentes se encuentra el problema de asignación cuadrática o QAP por sus siglas en inglés (Quadratic Assignment Problem), este es un problema de optimización combinatorio que consiste en asignar  $n$  departamentos (áreas, secciones) a  $n$  localidades (ubicaciones) de forma óptima; cuyo objetivo es minimizar una función expresada en flujos, distancias y/o costos. En consecuencia, varias heurísticas han sido propuestas hasta ahora para resolver grandes casos de QAP.

### 7.1 HEURISTICAS

Los algoritmos heurísticos se pueden clasificar como algoritmos de tipo construcción donde una solución se construye a partir de la observación y los algoritmos de tipo de mejora donde se perfecciona una solución inicial. Los métodos basados en la construcción se consideran los enfoques heurísticos más simples y antiguos para

resolver el QAP desde un punto de vista conceptual y de implementación, pero la calidad de las soluciones producidas por el método de construcción generalmente no son satisfactorias. Los métodos basados en la mejora comienzan con una solución factible e intentan mejorarla mediante intercambios de asignaciones únicas. Estas heurísticas se clasifican como algoritmos basados en la distancia y la adyacencia. Por ejemplo, MATCH es un algoritmo basado en la adyacencia, mientras que CRAFT, LOGIC y MULTIPLE son basados en la distancia.

Otra técnica tradicional utilizada en la construcción de distribuciones es el "Computerized Relationship Layout Planning" CORELAP, el cual fue desarrollado en 1967, siendo uno de los pioneros en el campo de la distribución asistida por computador. En ésta metodología se ubican los departamentos de acuerdo con la calificación de cercanía total representada en trayectoria rectilínea, siendo el de mayor relación de cercanía situado en el centro de la disposición y como regla de desempate siempre se selecciona el departamento de área más grande.

CRAFT, es el acrónimo de *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* el cual traduce Asignación Relativa Computarizada de Instalaciones Técnica. El Método CRAFT es un programa computarizado de mejoramiento de las distribuciones el cual tiene como objetivo principal reducir al mínimo el costo total de transporte de una distribución, es un algoritmo de mejora y comienza con una disposición inicial y procede a mejorar el diseño, intercambiando los departamentos de pares para finalmente reducir el costo total de transporte de material.

Este modelo presentado por Armour y Buffa (1963), inicia con la determinación de los costos de las instalaciones y la determinación del centroide de cada una de las áreas, luego evalúan todas las posibles ubicaciones de las áreas que pueden ser adyacentes entre sí o ser del mismo departamento. La configuración de las áreas que resulte de menor costo es la elegida. Este procedimiento se repite hasta cuando no existe una combinación de ubicaciones que resulte de menor costo que la actual. Esta técnica puede manejar solo cuarenta instalaciones y funciona mejor cuando las áreas de las instalaciones son de áreas disimiles.

(Taghavi & Murat, 2011) se concentraron en desarrollar un procedimiento heurístico para resolver problemas de distribución de instalaciones y asignación de flujo de productos. Ellos proponen un heurístico alternativo integrado compuesto por un algoritmo de perturbación y un heurístico de localización secuencial. Explican que desarrollaron el algoritmo de perturbación basado en decisiones de asignación para contrarrestar los efectos de la solución con el heurístico que siempre tiende a terminar en óptimo local. Su solución busca conjuntamente determinar la configuración de la distribución de un juego de máquinas y asignarles producto de manera que se minimicen el costo total de manejo de materiales.

(Bozer & Wang, 2012) implementan un heurístico basado en la representación gráfica de pares y el modelo de programación entera mixta “MIP”, para encontrar soluciones para el problema de distribución de instalaciones de áreas desiguales (UA-FLP), la obtención de soluciones exactas para el modelo MIP es difícil y entonces los autores recurren a graficar los pares para manipular y determinar las ubicaciones relativas de las instalaciones en la distribución y utilizan un procedimiento heurístico llamado “GRAPH”, compuesto por la técnica de graficado de pares y un algoritmo del tipo templado simulado (SA) en el procedimiento de búsqueda con el fin de mejorar la distribución.

## **7.2 MODELO SLP**

La metodología SLP (Systematic Layout Planning) fue desarrollada por Muther (1973) y emplea como base un diagrama de relaciones de actividades y un análisis de flujo de materiales. ha sido la más aceptada y la más comúnmente utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos, aunque fue concebida para el diseño de todo tipo de distribuciones en planta independientemente de su naturaleza

El método S.L.P. es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución y está constituida por varias fases, en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas de la mencionada planeación. Al aplicar el método S.L.P, se obtienen

beneficios en reducción de costos, de tiempos de producción, de flujos de materiales, entre otros.

Este Método consigue enfocar de forma organizada los proyectos de planteamiento, fijando un cuadro operacional de Fases, una serie de procedimientos, un conjunto de normas que permitan identificar, valorar y visualizar todos los elementos que intervienen en la preparación de un planteamiento. Esta técnica puede aplicarse a oficinas, laboratorios, áreas de servicio, operaciones manufactureras o almacenes, siendo aplicable en caso de readaptaciones en edificios ya existentes, en nuevos edificios o en el nuevo emplazamiento en planta a proyectar.

Ojaghi (2015) aplicó SLP, Pairwise Exchange Method (PEM) y Graph Based Theory (GBT) a una empresa procesadora de carne en Penang, Malasia, seleccionaron la mejor alternativa con base en la tasa de eficiencia, logrando un mejora del 90,43% al 94,78%.

### **7.3 MODELO DE LA TEORÍA DE GRAFOS**

La teoría de grafos aborda cada departamento o máquina (ignorando el área y la forma de los departamentos al principio) y los define como un nodo dentro de una red de grafos. Estos dependen de una adyacencia deseable predefinida de cada par de áreas, (Hassan & Hogg, 1991). En otras palabras, puede decirse que la teoría de grafos supone que se conoce la conveniencia de localizar cada par de áreas adyacentes entre sí.

(Tari & Neghabi, 2015) proponen una nueva versión de adyacencia que proporciona un diseño más flexible. Los departamentos que son no adyacentes pero próximos entre sí se consideran adyacentes con una menor calificación de adyacencia. Por último, desarrollan un modelo de programación matemática que es una representación más realista del FLP

### **7.4 MODELOS DE PROGRAMACIÓN ENTERA MIXTA**

El problema de distribución en planta se puede formular como un problema de programación entera mixta si se supone que todos los departamentos son rectangulares. En términos generales, los modelos basados en la programación



matemática, según Tompkins y White (2003), se consideran modelos de construcción, porque no es necesario introducir una distribución inicial, sin embargo tales modelos se pueden usar para mejorar una distribución específica.

(Chae & Regan, 2016) presentan un modelo en el que cada departamento tiene una restricción de área que especifica el área total que debe ocupar, mientras que las longitudes y anchuras específicas están determinadas por el modelo. Sin embargo, algunos departamentos no tienen flexibilidad y la dimensión está predeterminada. Por lo tanto, proponen resolver el problema de diseño con dos tipos de departamento: el departamento del tipo A, longitud y anchura flexibles, y departamento del tipo B, longitud y anchura fijas, con una superficie total dada.

## 8 METODOLOGÍA

Según lo planteado en la descripción del problema resulta conveniente la implementación de métodos de mejora para el rediseño de la planta de producción de la empresa caso de estudio, analizando principalmente el flujo de materiales y las distancias que recorren con el fin de obtener un beneficio en costos debido a su manejo.

En la revisión de la literatura se identificaron metodologías de solución que se ajustan a las condiciones y características de la empresa SOMEK S.A. En primer lugar, los modelos de programación entera mixta, ya que éstos permiten la variación de los tamaños de cada área especificando sus medidas y se basan en la minimización de la distancia total ponderada del flujo de material en el espacio, por otra parte, la metodología SLP se enfoca en las relaciones de adyacencia entre áreas y calcula el costo a partir de sus distancias relativas. Estas se tendrán como principales alternativas en el desarrollo de esta investigación.

### 8.1 ACTIVIDADES

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos, se deben tener en cuenta un conjunto de actividades indispensables para el desarrollo del proyecto, las cuales se describen a continuación.

Objetivo	Actividad	Duración (Semanas)
Realizar un diagnóstico de la distribución actual del área de producción de la planta	• Realizar diagramas de proceso y de recorrido actual	4
	• Cuantificar material transportado entre cada área	5
	• Medición de áreas de trabajo (Planos)	6
Identificar y analizar mejoras en el proceso de producción, que permitan detectar configuraciones óptimas con respecto a la distribución actual.	• Obtener información (percepción) de operarios y empleados	3
	• Identificar restricciones críticas del proceso	5
	• Identificar movimientos dispendiosos y cuellos de botella	4
Evaluar y validar los resultados de la redistribución con base en la reducción de costos por manejo de materiales.	• Aplicar métodos de solución	7
	• Comparar resultados de los modelos aplicados	5
	• Formular una propuesta acorde a las necesidades de la empresa	5

## 9 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

SOMEK S.A. surge al mercado para solucionar, una amplia necesidad en la industria de contar con personal técnico y calificado en la rama de las ingenierías, que pueda contribuir con el desarrollo de proyectos, diseño y la construcción de equipos, y así posibilitar alternativas de mejoramiento a las empresas con tecnología criolla, a unos costos que pueden brindar una mayor posibilidad de competencia en el mercado, en un ambiente interno y externo cada vez más exigente competitivamente.

¿Qué hace Somec S.A.?

- Diseño y construcción de equipos
- Montajes industriales
- Construcción de tanques y equipos de almacenamiento

Figura 2. Productos fabricados por SOMEK S.A.



Fuente: <http://www.somec.co/portafolio>

Las instalaciones del taller de producción de la empresa SOMEK S.A. se encuentran ubicadas en el municipio de Tuluá, en la calle 21 # 22-65. La empresa cuenta con un terreno de 360 m<sup>2</sup> (24 de fondo por 15 de frente), el acceso al taller de producción está en piedra y las paredes están hechas en zinc y malla poli-sombra para lograr mejor aprovechamiento de la luz solar. La empresa cuenta con una edificación de una sola planta para el área de producción, sin embargo en una de las esquinas del taller hay una estructura en metal y concreto que hace las veces de segundo piso, allí se encuentra una pequeña oficina y se almacena materia prima e insumos.

## **9.1 DESCRIPCIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO**

### **9.1.1 *Materia prima y producto terminado***

El espacio utilizado por la empresa para almacenar la materia prima es generalmente la misma superficie en la que se reúne el producto terminado, se encuentra a la entrada del taller y es adyacente al área de acabado y soldadura. Cabe resaltar que la materia prima se debe separar de acuerdo a sus propiedades físico-químicas, por ende, se almacenan metales inoxidables en esta área y metales oxidables en la parte superior adyacente a la oficina.

### **9.1.2 *Corte***

Generalmente es el proceso que da inicio a la mayoría de productos elaborados en la planta. El jefe del área recibe las especificaciones y la materia prima (láminas, tubos, platinas) y se determina el tipo de corte a realizar: Oxi-corte, corte con arco de plasma o corte por haz de láser. Según los requerimientos del cliente se utilizan diferentes máquinas para realizar el corte, entre ellas la cortadora “Steel Taylor” de gran precisión.

### **9.1.3 *Doblado***

Este proceso se encarga de obtener la deformación deseada de las láminas, tubos, platinas, etc., esta acción de conformado se realiza a través de una dobladora la cual tiene una forma y un punzón determinado, actuando sobre el metal y haciendo presión a este. El servicio de doblado de lámina permite que este se comprima y

estire, generando los cambios y el aspecto que se busca. En este proceso se cuenta con un (1) operario, el cual es el encargado de la máquina dobladora

#### **9.1.4 Maquinado**

En esta área se realizan procesos como refrendado, torneado cilíndrico, torneado cónico o rolado utilizando máquinas como el torno o la roladora. Es una de las áreas más pequeñas del taller y se encuentra dividida, debido a que la máquina roladora está ubicada en un sitio fuera del área de maquinado, es decir, entre las áreas de acabado y corte. En este proceso participan 2 operarios.

#### **9.1.5 Armado y soldadura**

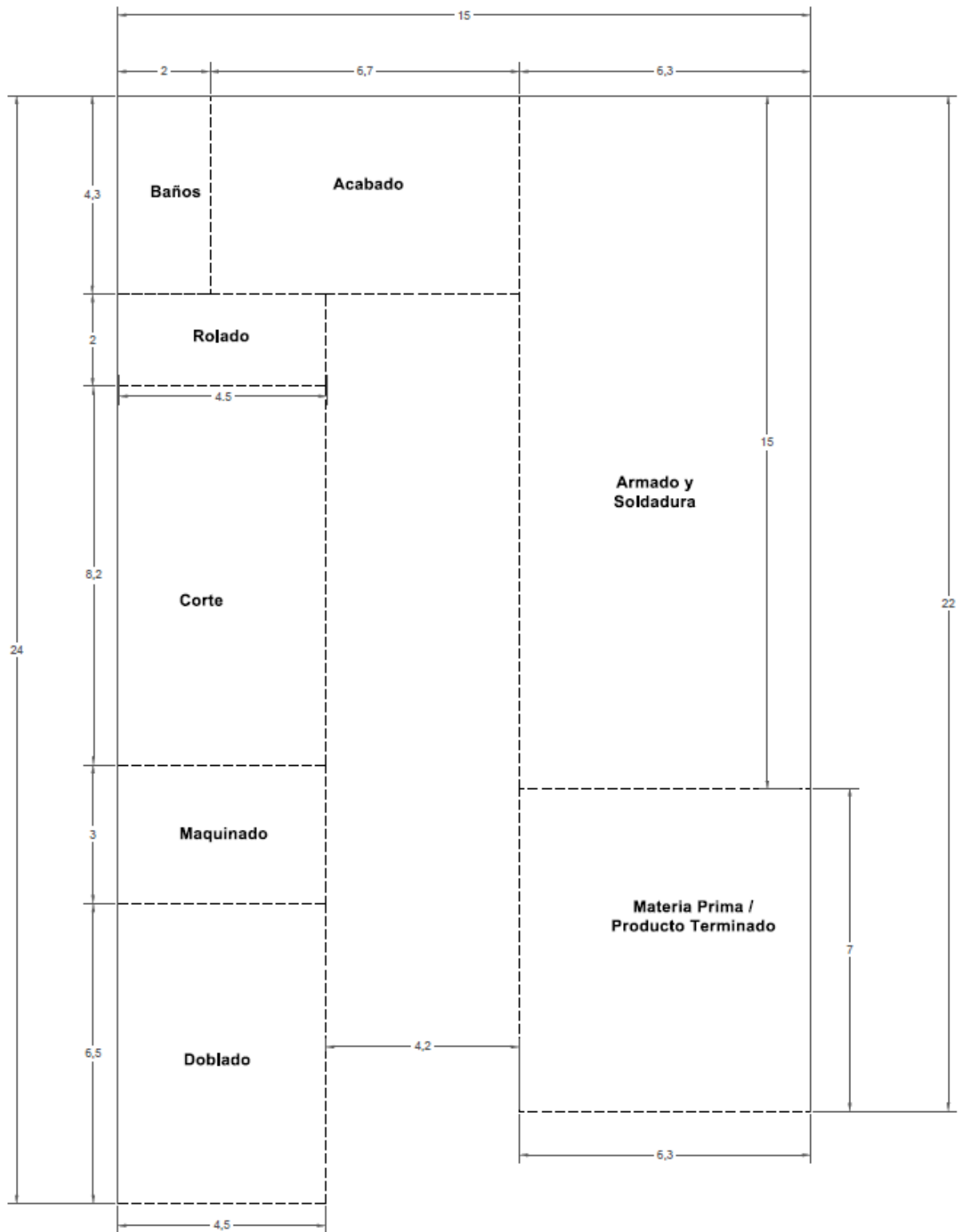
En este proceso se le da la horma final al producto e intervienen normalmente 8 operarios, es una de las áreas más grandes de la planta, allí se encuentran ubicados equipos para soldadura y diferente maquinaria para perforar y asegurar las piezas metálicas finales.

#### **9.1.6 Acabado**

En este proceso se despliega una serie de actividades que garantizan el terminado del artículo producido, estas actividades van desde pulir los desperfectos ocasionados en los anteriores procesos hasta el acabado de pintura del producto terminado. Se utilizan diferentes módulos que permiten una observación detallada del artículo con el fin de identificar fallas o desperfectos que puedan ocasionar problemas con el cliente final.

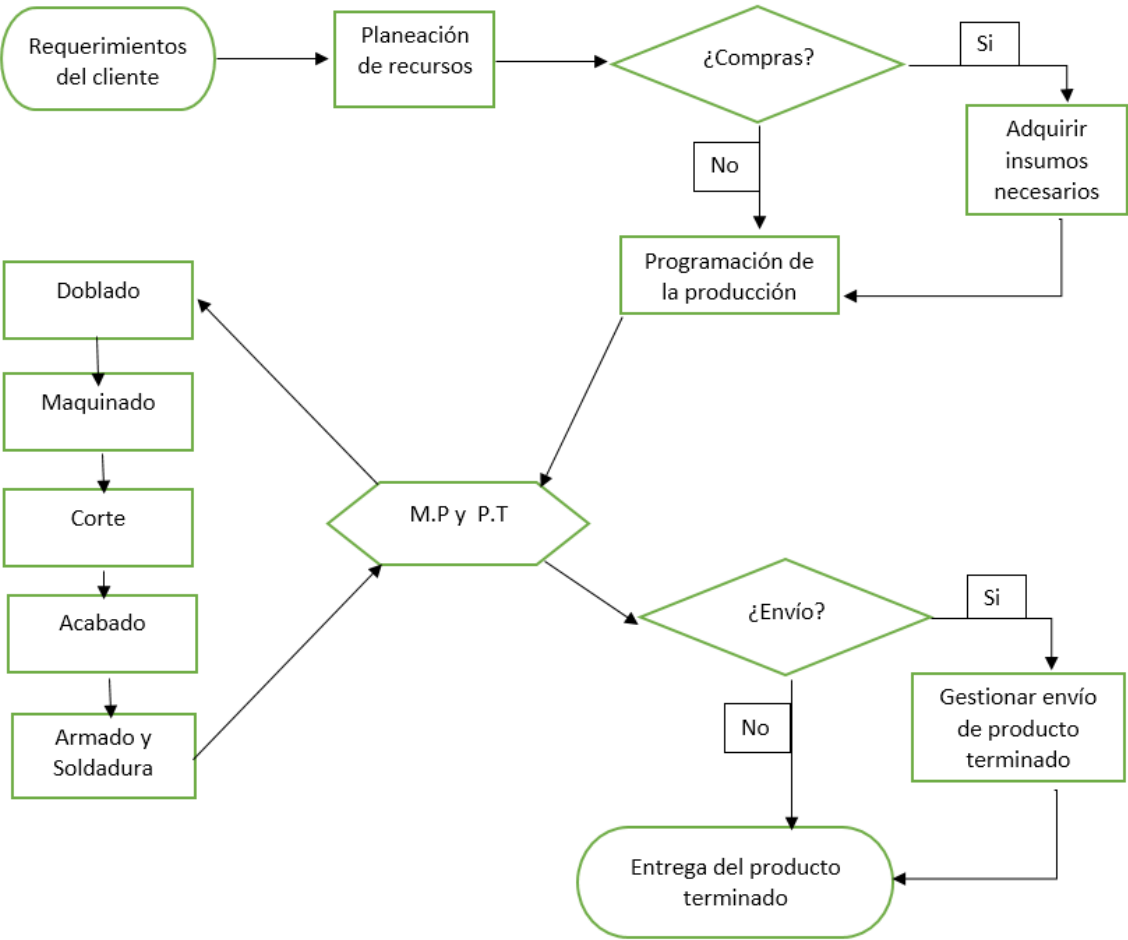
Para brindar al lector una mejor representación gráfica de la empresa, se realizó un plano en 2D utilizando la herramienta AutoCad, especificando las medidas de cada área en metros y su ubicación.

Figura 3. Plano de la distribución actual



A continuación, se muestra a través de un diagrama de flujo el proceso de fabricación empleado en la actualidad por la empresa objeto de estudio.

Figura 4. Diagrama de flujo de SOMEC. S.A.



## **10 DIAGNÓSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE LA EMPRESA**

Teniendo en cuenta las fases de un proyecto de redistribución de planta, es importante resaltar que este trabajo está enfocado solo a la fase de diseño del plan, sin incluir un análisis económico que determine el costo de ejecución del proyecto. Se desarrolla basado en el sistema productivo y el flujo de materiales a través de adyacencias y/o distancias.

A continuación, se analizan los factores a tener en cuenta para el diagnóstico de la distribución actual de SOMEK S.A.

### **10.1 ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN**

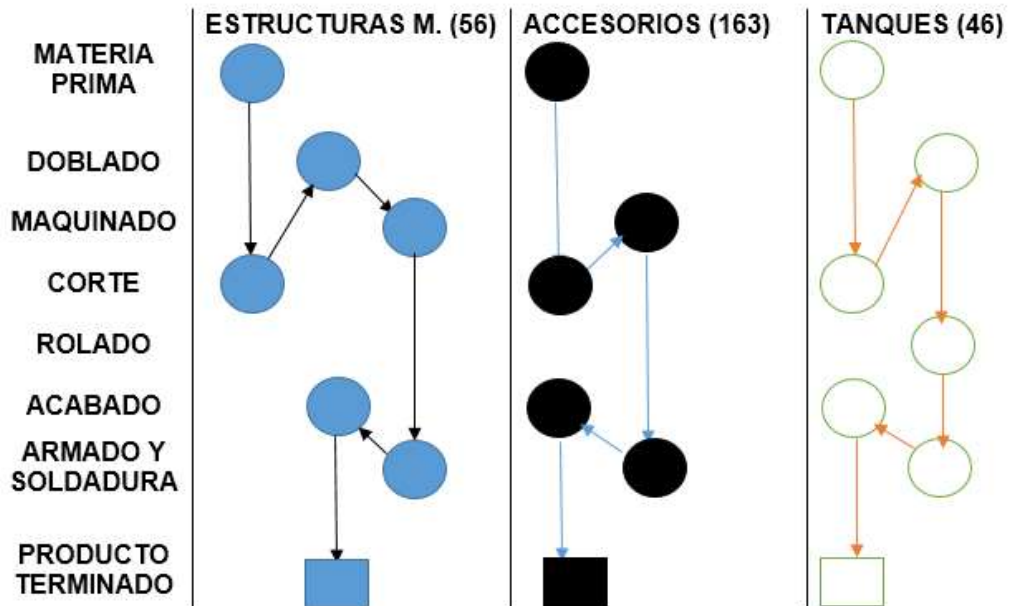
Haciendo referencia al sistema productivo de SOMEK S.A. se encuentra que esta empresa se dedica a la fabricación de diferentes productos como clarificadores de agua y meladuras, intercambiadores de calor, tolvas, fermentadores de mosto, etc.

Debido a la alta variabilidad en las especificaciones de los productos por parte del cliente, no se tiene un flujo ordenado y homogéneo siempre, por ende, se realizó una clasificación de los artículos manufacturados en el último año (ver anexo 1) y se ordenaron en tres categorías diferentes de acuerdo a su proceso de producción, es decir, de acuerdo al recorrido por las áreas del taller.

La figura 5 muestra el trayecto que sigue cada uno de los grupos de productos a través de las áreas y la cantidad fabricada en un periodo de un año, en total se fabricaron 265 productos que se clasificaron en estructuras metálicas, tanques y accesorios. Esta clasificación se hace con el objetivo de identificar un flujo básico que siguen la mayoría de productos y ordenar el taller en función de ese recorrido.



Figura 5. Diagrama de recorrido actual de los productos



## 10.2 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO EN AREAS POR EQUIPOS

Para tener una estimación más realista, se calcularon los requerimientos de espacio en cada área con base en el espacio ocupado por cada máquina, utilizando los criterios del libro de Distribución en Planta, Muther (1970), quien define diferentes espacios requeridos para operar la máquina, es decir, la extensión que se requiere para llevar a cabo las actividades cotidianas de trabajo (ver anexo 2). Esto hace referencia al espacio que necesita el (los) operario(s) para moverse cómodamente, el área para almacenamiento de materiales, el área para producto terminado o en proceso y el espacio requerido para pasillos. En la tabla 1 se muestra el resumen de éstos cálculos.

Tabla 1. Dimensiones de áreas por máquinas

<b>Departamento</b>	<b>Equipo</b>	<b>Área total (M<sup>2</sup>)</b>
CORTE	Cortadora Steel Taylor	53
	Plasma Hypertherm power max 105	
	Plasma PowerMax 30	
	Plasma PowerMax 45	
MAQUINADO	Torno Paralelo	20,5
	Taladro de Árbol Group	
	Taladro Fresador	
DOBLADO	Dobladora HCA Ermak	34
ARMADO Y SOLDADURA	Compresor Royal	143
	Soldador Lincoln	
	Soldador Infra	
	Soldador Boc	
	Soldador Lincoln RX 330	
	Soldador Mig-Mag Lincoln	
ACABADO	Cepillo Mecánico	32
	Taladro Magnético TCR 32	
MP y PT	Monta Carga Eléctrico	53
ROLADO	Roladora	13,75
BAÑOS	Bateria Sanitaria	8

### 10.3 ANÁLISIS DE TRANSPORTE DE MATERIALES ENTRE ÁREAS

La planificación eficaz del flujo de los materiales a lo largo del proceso, busca reducir el desplazamiento, las distancias de viaje y los movimientos que se realicen para la producción habitual de la empresa, por lo tanto se requiere calcular la cantidad de material que se transporta y las distancias recorridas por el mismo, con el fin de minimizar los desplazamientos y reducir los costos inherentes a su transporte, que se puede dar de manera manual o utilizando el puente grúa.

Se estableció un mecanismo de transporte (puente grúa o manual), asumiendo el tipo de material que sale y entra de cada área, todo esto para definir una unidad de carga de acuerdo a la cantidad de viajes que se hacen por cada área. En las tablas 2, 3 y 4 se describe la cantidad de viajes que se realizan normalmente para construir una unidad de cada familia de productos.

Tabla 2. Movimiento de materiales entre áreas para Estructuras Metálicas

Área (desde)	Área (Hasta)	Entra	Equipo utilizado	Cantidad de viajes
Materia prima	Corte	Lámina – platinas - tubos	Puente grúa	2
			Manual	9
Corte	Doblado	Lámina, platinas, tubos cortados	Puente grúa	2
			Manual	7
Doblado	Maquinado	Lámina plegada	Puente grúa	2
			Manual	4
Maquinado	Armado y soldadura	Piezas de lámina, tubos y platinas unidas por soldadura y tornillos	Puente grúa	2
			Manual	7
Armado y soldadura	Acabado	Producto Semielaborado	Puente grúa	2
			Manual	7
Acabado	Producto terminado	Producto terminado	Puente grúa	1
			Manual	8

Tabla 3. Movimiento de materiales entre áreas para Tanques

Área (desde)	Área (Hasta)	Entra	Equipo utilizado	Cantidad de Viajes
Materia prima	Corte	Lámina	Puente grúa	2
			Manual	4
Corte	Doblado	Lámina cortada	Puente grúa	4
			Manual	6
Doblado	Rolado	Lámina plegada	Puente grúa	2
			Manual	4
Rolado	Armado y soldadura	Lámina plegada y rolada	Puente grúa	2
			Manual	4
Armado y soldadura	Acabado	Lámina unida por soldadura, codos, tornillos.	Puente grúa	1
			Manual	3
Acabado	Producto terminado	Producto terminado	Puente grúa	1
			Manual	3

Tabla 4. Movimiento de materiales entre áreas para Accesorios

Área (desde)	Área (Hasta)	Entra	Equipo utilizado	Cantidad de Viajes
Materia prima	Corte	Láminas – Tubos (completo)	Puente Grúa	2
			Manual	6
Corte	Maquinado	Lámina y/o tubo cortado	Puente Grúa	2
			Manual	8
Maquinado	Armado y soldadura	Láminas y/o tubo, platinas, armados en su forma final	Puente Grúa	2
			Manual	8
Armado y soldadura	Acabado	Accesorio pulido y terminado	Puente Grúa	2
			Manual	6
Acabado	Prod. terminado	Producto terminado	Puente Grúa	1
			Manual	3

#### 10.4 COSTOS DE TRANSPORTE DE MATERIALES

Para poder establecer un costo de transporte interno, se hizo necesario definir los mecanismos usados en cada caso específico, es decir, se calculó el costo usando el puente grúa y manualmente, detallando cuantos viajes se deben realizar por cada medio de transporte para construir una unidad de cada categoría de productos.

Para calcular el costo por metro en los dos medios de transporte, se tuvieron en cuenta los datos mostrados en la tabla 5.

Según el manual del fabricante (Polipasto de cable AS7), la potencia del puente grúa es de 36 kW y su velocidad máxima es de 5,4 km/h, pero se asumió como velocidad media con carga un valor de 1,5 km/h ya que cuando se desplazan materiales se debe hacer a la mínima velocidad. En cuanto al transporte manual, se tomó como velocidad media la referenciada por Barreira et al. (2010), donde los resultados concluyen que la velocidad media de un humano al caminar es de 5 km/h. También se asumió como costo por hora laboral un valor de 3.255 pesos, basado en el salario mínimo para el año 2018 en Colombia. El costo del kWh se estableció con base en las tarifas definidas por el prestador del servicio en la ciudad de Tuluá, CETSA, quien fijó para el mercado no residencial un costo de 480,5 \$/kWh.

Se realizaron las conversiones necesarias para tener todos los datos en las mismas unidades.

Tabla 5. Información para calcular el costo unitario de transporte (\$/m)

Datos	Puente grúa	Manual
Velocidad (m/h)	1500	5000
Costo (\$/kWh)-(\$/h)	480,5	3255
Potencia (kW)	36	
Tiempo (h/m)	0,00067	0,0002

En el caso del puente grúa, el costo unitario se obtuvo multiplicando el tiempo promedio de desplazamiento por la potencia del motor por el costo del kW, sumado al tiempo que invierte un operario manejando esta máquina por el salario laboral mínimo; es necesario precisar que no hay un operario fijo manipulando esta máquina sino que se capacitó a varios de ellos para su utilización.

El costo unitario de transporte utilizando el puente grúa es de 13,70 \$/m.

En el caso del transporte manual, se multiplicó el tiempo medio de desplazamiento de un operario por el costo de una hora laboral y se obtuvo un resultado de 0,65 \$/m.

Se determinó una matriz de flujos en función de los requerimientos de transporte para asignar un costo de acuerdo a la cantidad de recorridos que se ejecutan cotidianamente, multiplicando la cantidad de viajes por el costo unitario por el volumen producido (tabla 6).

Para efectos de simplicidad se abrevian los nombres de las áreas como se muestra a continuación:

**MP/PT:** materia prima y producto terminado      **AS:** armado y soldadura

**C:** corte      **A:** acabado

**M:** maquinado      **R:** rolado

**D:** doblado

Tabla 6. Matriz de costos de transporte por cantidad de movimientos (flujo), (\$/m-año)

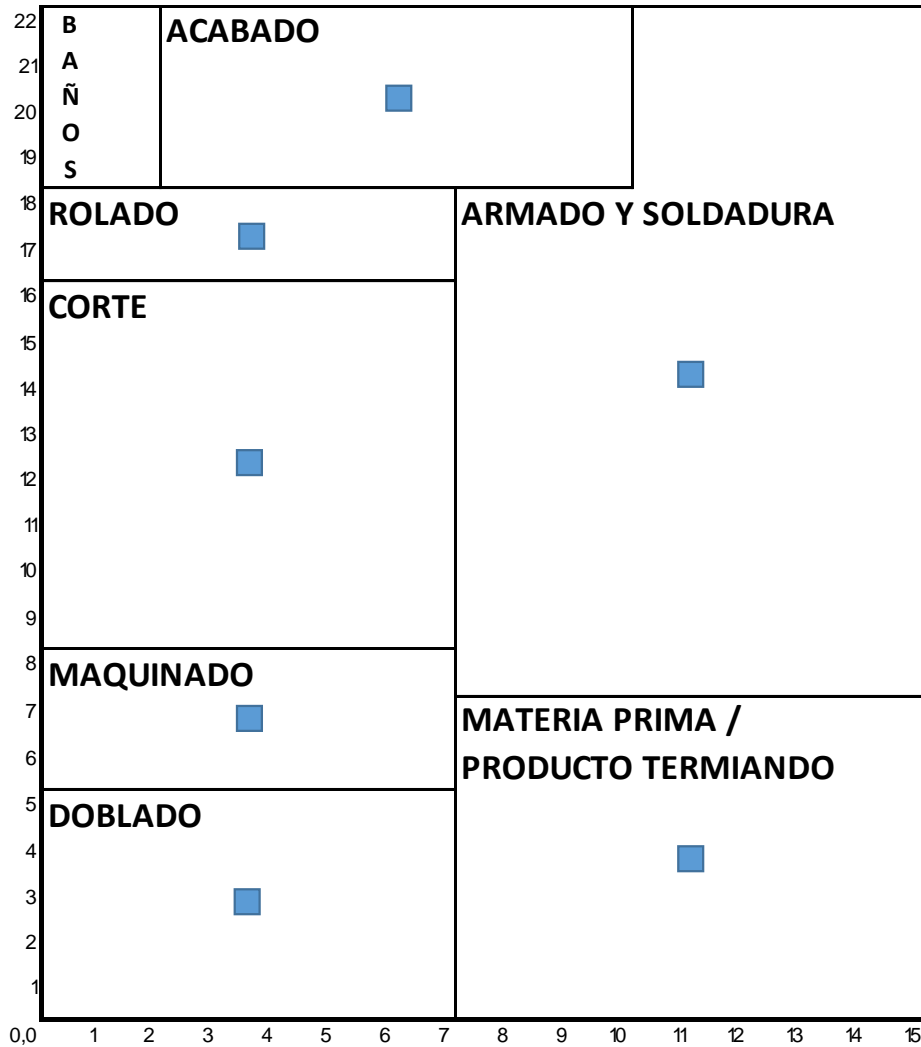
	MP/PT	C	M	D	AS	A	R
MP/PT		12.979,5					
C			7.717,0	9.060,2			
M					11.694,5		
D			2.928,6				2.593,6
AS						13.182,2	
A	8.790,4						
R					2.593,6		

### 10.5 DISTANCIA ENTRE DEPARTAMENTOS

En esta etapa del estudio se debe realizar una matriz origen-destino con el fin de conocer con precisión la relación de proximidad entre los diferentes departamentos, la unidad de medida en el levantamiento de la matriz es el metro lineal.

Como herramienta para graficar los departamentos se utilizó Excel, en la figura 6 se muestra el plano de coordenadas en dos dimensiones, con las cuales se calculan los centros de gravedad de cada área y posteriormente las distancias rectangulares para cada par de departamentos.

Figura 6. Coordenadas de la distribución inicial



La medida de la distancia rectangular es la medida de distancia más útil para localización dentro de instalaciones, ya que da una buena aproximación en espacios cerrados conectados por pasillos.

Antes de calcular la distancia es necesario encontrar el centro de gravedad de cada uno de los departamentos (figura 6); en el caso de las áreas que tienen forma rectangular, se identifica fácilmente las coordenadas siguiendo la escala y utilizando las medidas de cada área (tabla 1). Par el departamento de armado y soldadura que

no tiene forma rectangular, se calcula su centro de gravedad dividiendo el área en dos rectángulos y calculando sus coordenadas (ecuación 1).

$$x_i = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$y_i = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde  $x_i$ ,  $y_i$  corresponden a las coordenadas de cada área  $A_i$

Tabla 7. Coordenadas de los centros de gravedad

Departamento	Centroide	
	$x_i$	$y_i$
M.P / P.T	11	3,5
Corte	3,5	12
Maquinado	3,5	6,5
Doblado	3,5	2,5
Armado y Soldadura	11	14
Acabado	6	20
Rolado	3,5	17

La distancia entre dos departamentos se calcula con la ecuación para distancia rectangular, que corresponde a la suma de la diferencia absoluta de las coordenadas de los centros de gravedad (ecuación 2).

$$d(X, p_i) = |x - x_i| + |y - y_i| \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde  $d(X, p_i)$  es la distancia entre dos puntos o departamentos.

A partir de estos datos, se calculó la matriz de distancias entre departamentos (tabla 8) obtenida al aplicar el método sobre las coordenadas del modelo inicial.



Tabla 8. Distancia entre departamentos en metros

Dpto	MP/PT	C	M	D	AS	A	R
MP/PT	0	16	11	9	11	22	21
C	16	0	6	10	10	11	5
M	11	6	0	4	15	16	11
D	9	10	4	0	19	20	15
AS	11	10	15	19	0	11	11
A	22	11	16	20	11	0	6
R	21	5	11	15	11	6	0

### 10.6 MATRIZ DE COSTOS DE TRANSPORTE PARA LA DISTRIBUCIÓN INICIAL

El costo total de transporte se refiere a lo que gasta la organización anualmente para mover las cargas requeridas del departamento  $i$  al departamento  $j$ , multiplicado por la distancia entre los departamentos  $i$  y  $j$ .

Este costo total se puede visualizar como:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Y_{ij} d_{ij} C$$

Donde:

$n$ : Cantidad de departamentos

$Y_{ij}$ : Cantidad anual de cargas que se mueven del departamento  $i$  al  $j$ .

$d_{ij}$ : Distancia que separa los departamentos  $i$  y  $j$ .

$C$ : Costo unitario de mover una carga del departamento  $i$  al  $j$ .

Tabla 9. Costo de los movimientos

	MP/PT	C	M	D	AS	A	R	Costo
MP/PT		16						\$ 207.672,7
		12.979,5						
C			6	10				\$ 136.903,6
			7.717,0	9.060,2				
M					15			\$ 175.417,1
					11.694,5			
D			4				15	\$ 50.618,0
			2.928,6				2.593,6	
AS						11		\$ 145.004,5
						13.182,2		
A	22,0							\$ 193.389,3
	8.790,4							
R					11			\$ 28.529,4
					2.593,6			

**Total \$ 937.534,6**

### 10.7 RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

- Se observan contraflujos en el diagrama de recorrido que pueden ralentizar el proceso de fabricación.
- Con base en las distancias mostradas anteriormente y el diagrama de recorrido de cada producto, se identificó que los tanques, las estructuras metálicas y los accesorios deben recorrer distancias prolongadas durante su proceso de fabricación (89, 78, y 70 metros respectivamente).
- Se analizó con ayuda del ingeniero de planta la necesidad de reubicar la máquina roladora que se encuentra actualmente entre las áreas de acabado y corte, para situarla dentro del área de maquinado.
- Se evidencia que existen equipos que ya no se utilizan y estos ocupan espacio innecesariamente, principalmente en el área de armado y soldadura.

- Debido a que la empresa vende recortes de materiales como láminas y tubos, se observan algunos de estos elementos ocupando pasillos e invadiendo las diferentes áreas.
- El costo total de transporte de materiales con la distribución actual de la planta se estimó en \$ 937.534,6.
- La zona de materia prima y producto terminado no se puede mover porque debe estar ubicada a la entrada para facilitar el proceso de recepción, además se deben separar los metales oxidables de los no oxidables y esto se realiza utilizando la zona adyacente a la oficina.
- La zona de baños no se incluye dentro de la distribución

## **11 GENERACION DE DISEÑOS CANDIDATOS PARA LA REDISTRIBUCIÓN**

Para poder establecer un diseño de redistribución que favorezca el funcionamiento de la empresa teniendo en cuenta un mejor flujo de materiales, se realizará un primer planteamiento desde el punto de vista del SLP, esta metodología parte de un diagrama de relaciones de adyacencia en el que se ponderan numéricamente las relaciones de acuerdo a la subjetividad o al juicio emitido por un experto, en este caso, el ingeniero jefe de la planta.

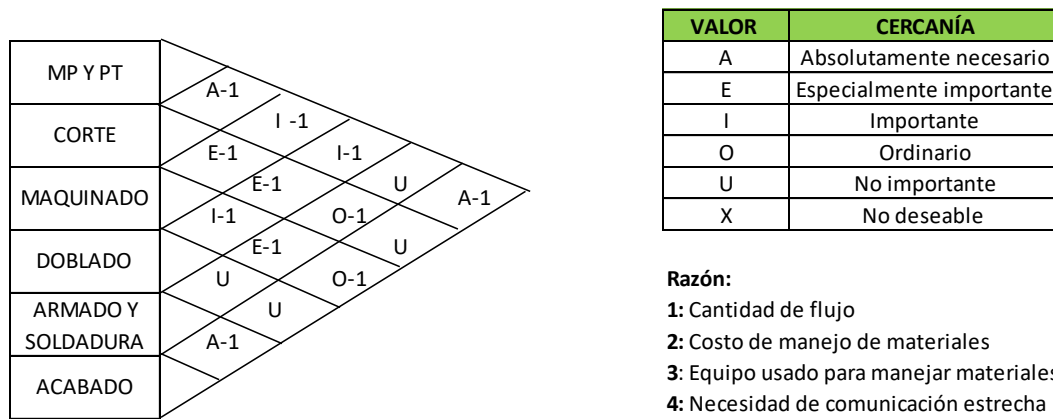
Las relaciones de adyacencia suponen las oportunidades de mejora que no se pueden medir fácilmente, es decir, las necesidades de situar un departamento cerca de otro por conveniencias cualitativas, como por ejemplo, el hecho de situar el área de corte junto al área de materia prima, ya que además del alto flujo de materiales entre ellas, se considera la posibilidad de organizar los recortes y subproductos que sobran del área de corte en el área de materia prima para mejorar el orden en dichas áreas.

Por otro lado, se considera necesaria la cercanía del área de armado y soldadura con acabado, ya que frecuentemente se fabrican productos de gran tamaño y se hace difícil desplazarlos en la parte final de su proceso de fabricación, por lo cual se sitúa en un punto contiguo a estas dos áreas donde se puedan realizar trabajos

simultáneos. También es importante resaltar la necesidad de compartir algunos equipos como compresores.

Con los datos obtenidos, se elaboró el diagrama de relaciones mostrado en la figura 7, en este se describe la importancia de situar ciertos pares de áreas juntas, de acuerdo a las distintas relaciones de conveniencia que se establecieron previamente.

Figura 7. Diagrama de relación de actividades

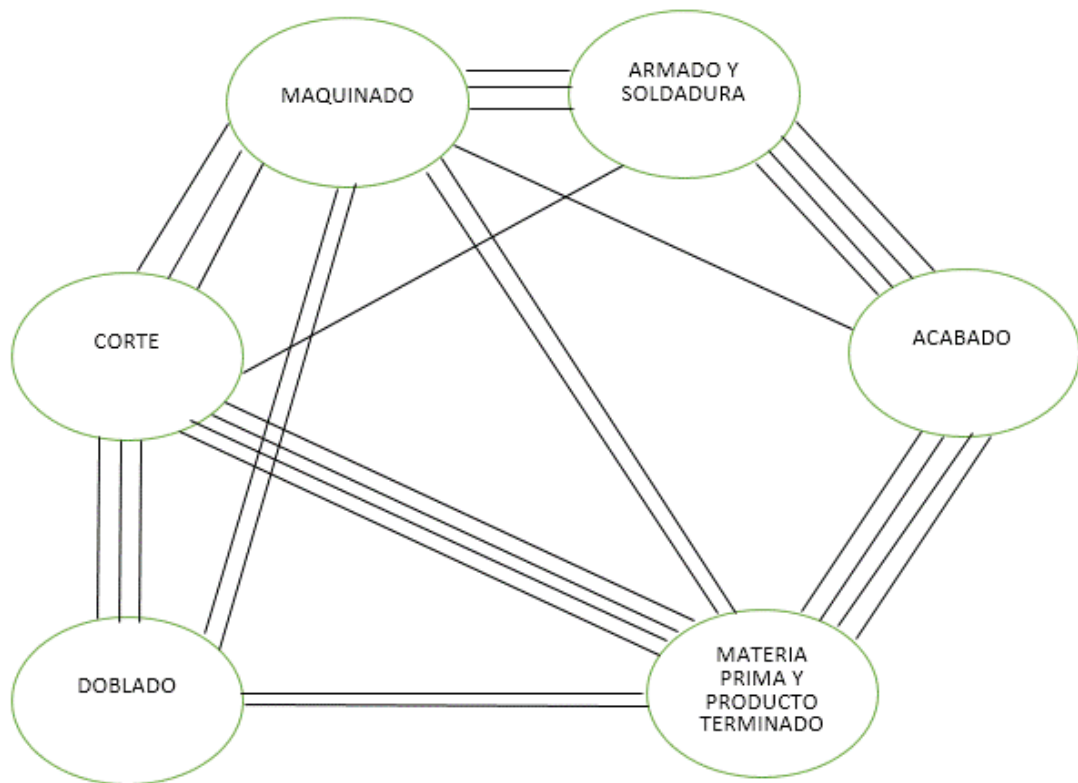


- Razón:**
- 1: Cantidad de flujo
  - 2: Costo de manejo de materiales
  - 3: Equipo usado para manejar materiales
  - 4: Necesidad de comunicación estrecha
  - 5: Necesidad de compartir algo del personal
  - 6: Necesidad de compartir algún equipo
  - 7: Separación necesaria por: Ruido, sustancias químicas, humos, explosivos,

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se representan estas relaciones en un diagrama espacial que une los departamentos con hilos (líneas) diferenciados que simbolizan la importancia del flujo entre ellos, según la evaluación de proximidad anteriormente realizada.

Figura 8. Diagrama de hilos

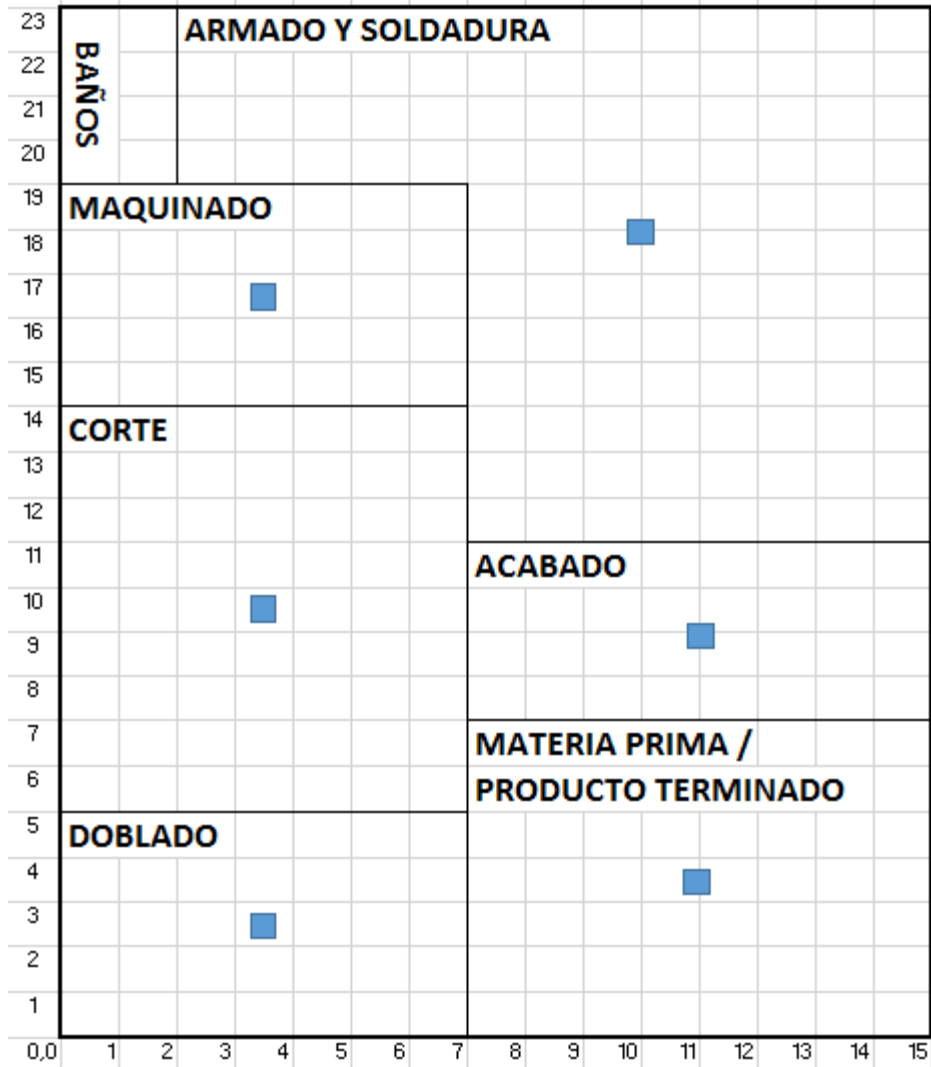


Fuente: Elaboración propia

### 11.1 DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISTRIBUCIÓN

Con el método SLP, a partir de la distribución inicial que se retoma en la figura 3 y teniendo en cuenta el diagrama de relación de actividades, se diseñan las alternativas que solucionan el problema, cabe resaltar que al priorizar la relación entre departamentos puede afectarse el costo de la distribución, debido a que si se busca como objetivo reducir el costo de transporte las mejores soluciones podrían dejar de lado los requisitos de adyacencia.

Figura 9. Distribución mejorada con SLP



La figura 9 muestra la primera aproximación de una distribución mejorada como resultado de la aplicación del método SLP, esta será el punto de partida para aplicar la metodología CRAFT con el fin de buscar una solución que reduzca el costo total de transporte. Cabe resaltar que el método SLP se basa en el cálculo del TCR (Valor Total de Cercanía) para evaluar la mejora propuesta, pero en este caso se determinará con base en la matriz de costos.

Con el objetivo de encontrar la configuración de áreas que reduzcan más el costo total de transporte de materiales, se calculó el costo de la distribución mejorada.

Para esto, se determinaron las nuevas coordenadas de los centros de gravedad de cada área y se calcularon las distancias entre las mismas (tabla 10). La matriz de flujos se mantiene igual y se recalcula el costo total (tabla 11).

Tabla 10. Matriz de distancias (SLP)

	MP/PT	C	M	D	AS	A
MP/PT	0	14	21	9	16	6
C	14	0	7	7	15	8
M	21	7	0	14	8	15
D	9	7	14	0	22	14
AS	16	15	8	22	0	10
A	6	8	15	14	10	0

Tabla 11. Matriz de costo total (SLP)

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	175223	0	0	0	0	\$ 175.223
C	0	0	54019	63421	0	0	\$ 117.440
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	41000	0	0	0	\$ 41.000
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	48347	0	0	0	0	0	\$ 48.347
<b>Total</b>							<b>\$ 628.138</b>

Si se compara el costo total de la nueva distribución de planta con la anterior, se evidencia una disminución significativa, sin embargo, se pretende con este método buscar otras alternativas que ofrezcan un costo más bajo.

La metodología CRAFT inicia realizando la primera iteración que consiste en intercambiar los lugares de los centroides para toda pareja de departamentos  $i, j$  adyacentes o con igual área (esta es una aproximación no equivalente a intercambiar las áreas y recalculan los centroides) y calcular el costo para cada intercambio posible.

Se observa que los posibles intercambios son: AS-M, M-C, A-C, AS-C, D-C, D-M.

Se procede a intercambiar los centros de gravedad en cada combinación posible y se determina nuevamente una matriz de distancias y una matriz de costos

Tabla 12. Matriz de costos AS-M

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	181713	0	0	0	0	\$ 181.713
C	0	0	115755	63421	0	0	\$ 179.176
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	64429	0	0	0	\$ 64.429
AS	0	0	0	0	0	197733	\$ 197.733
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 790.099</b>

Tabla 13. Matriz de costos M-C

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	272570	0	0	0	0	\$ 272.570
C	0	0	54019	126843	0	0	\$ 180.862
M	0	0	0	0	214322	0	\$ 214.322
D	0	0	20500	0	0	0	\$ 20.500
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 872.817</b>

Tabla 14. Matriz de costos A-C

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	77877	0	0	0	0	\$ 77.877
C	0	0	115755	126843	0	0	\$ 242.598
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	41000	0	0	0	\$ 41.000
AS	0	0	0	0	0	197733	\$ 197.733
A	123066	0	0	0	0	0	\$ 123.066
<b>Total</b>							<b>\$ 796.579</b>



Tabla 15. Matriz de costos AS-C

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	207672	0	0	0	0	\$ 207.672
C	0	0	61736	199324	0	0	\$ 261.060
M	0	0	0	0	100017	0	\$ 100.017
D	0	0	41000	0	0	0	\$ 41.000
AS	0	0	0	0	0	105458	\$ 105.458
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 767.950</b>

Tabla 16. Matriz de costos D-C

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	116816	0	0	0	0	\$ 116.816
C	0	0	108038	63421	0	0	\$ 171.459
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	20500	0	0	0	\$ 20.500
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 607.644</b>

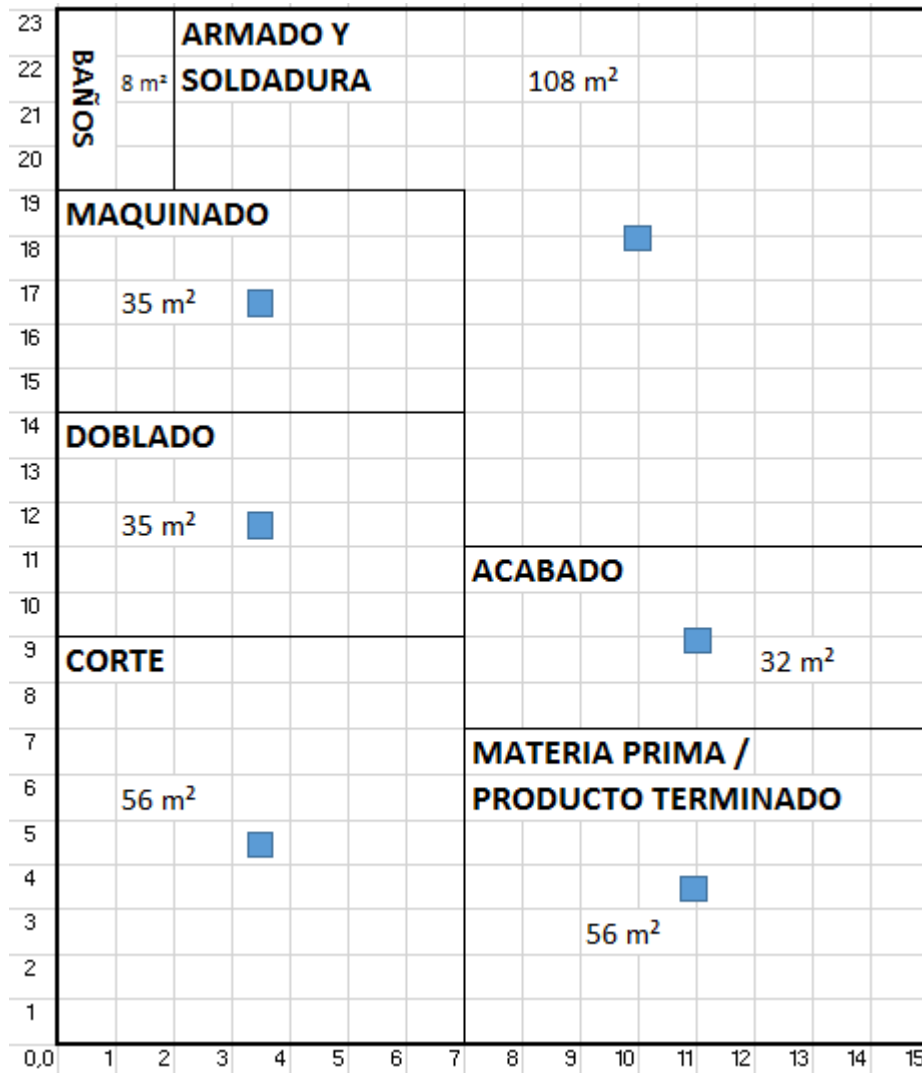
Tabla 17. Matriz de costos D-M

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	181713	0	0	0	0	\$ 181.713
C	0	0	108038	63421	0	0	\$ 171.459
M	0	0	0	0	314338	0	\$ 314.338
D	0	0	41000	0	0	0	\$ 41.000
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 893.075</b>

Después se debe seleccionar la pareja de departamentos que maximice la reducción de costo y se recalculan sus centroides y sus respectivas distancias. En este caso, el intercambio D-C presenta el costo más bajo, por lo tanto se realizará

el intercambio y se recalcularán las coordenadas de los centros de gravedad para obtener las nuevas distancias y posteriormente el costo real de dicho intercambio.

Figura 10. Distribución mejorada con CRAFT



La figura 10 muestra el resultado de la primera iteración, en la que se identificó que el intercambio entre los departamentos de corte y doblado presenta una reducción en el costo total como se muestra en la tabla 19. La tabla 18 muestra las nuevas distancias entre departamentos expresadas en metros.

Tabla 18. Distancias entre departamentos (CRAFT)

	MP/PT	C	M	D	AS	A
MP/PT	0	9	21	16	16	6
C	9	0	12	7	20	12
M	21	12	0	5	8	15
D	16	7	5	0	13	10
AS	16	20	8	13	0	10
A	6	12	15	10	10	0

Tabla 19. Matriz de costos (CRAFT)

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	110326	0	0	0	0	\$ 110.326
C	0	0	92604	63421	0	0	\$ 156.025
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	14643	0	0	0	\$ 14.643
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	48347	0	0	0	0	0	\$ 48.347
<b>Total</b>							<b>\$ 575.468</b>

El algoritmo sugiere realizar de nuevo las posibles combinaciones según los criterios establecidos (adyacencia y tamaño), intercambiando los centroides y calculando el costo.

Las posibles combinaciones son: D-M, D-A, D-AS, M-A

Se procede a intercambiar los centros de gravedad en cada combinación posible y se determina nuevamente una matriz de distancias y una matriz de costos

Tabla 20. Matriz de costos D-M

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	116816	0	0	0	0	\$ 116.816
C	0	0	54019	108722	0	0	\$ 162.741
M	0	0	0	0	185745	0	\$ 185.745
D	0	0	14643	0	0	0	\$ 14.643
AS	0	0	0	0	0	131822	\$ 131.822
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 664.510</b>

Tabla 21. Matriz de costos D-A

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	116816	0	0	0	0	\$ 116.816
C	0	0	92604	108722	0	0	\$ 201.326
M	0	0	0	0	114305	0	\$ 114.305
D	0	0	43929	0	0	0	\$ 43.929
AS	0	0	0	0	0	171369	\$ 171.369
A	140646	0	0	0	0	0	\$ 140.646
<b>Total</b>							<b>\$ 788.391</b>

Tabla 22. Matriz de costos D-AS

	MP/PT	C	M	D	AS	A	Costo
MP/PT	0	116816	0	0	0	0	\$ 116.816
C	0	0	92604	181204	0	0	\$ 273.808
M	0	0	0	0	71441	0	\$ 71.441
D	0	0	23429	0	0	0	\$ 23.429
AS	0	0	0	0	0	171369	\$ 171.369
A	52742	0	0	0	0	0	\$ 52.742
<b>Total</b>							<b>\$ 709.604</b>

Tabla 23. Matriz de costos M-A

	<b>MP/PT</b>	<b>C</b>	<b>M</b>	<b>D</b>	<b>AS</b>	<b>A</b>	<b>Costo</b>
<b>MP/PT</b>	0	116816	0	0	0	0	\$ 116.816
<b>C</b>	0	0	92604	63421	0	0	\$ 156.025
<b>M</b>	0	0	0	0	142881	0	\$ 142.881
<b>D</b>	0	0	29286	0	0	0	\$ 29.286
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	105458	\$ 105.458
<b>A</b>	184598	0	0	0	0	0	\$ 184.598
<b>Total</b>							<b>\$ 735.064</b>

En este caso, la segunda iteración no presentó una reducción en el costo total con ningún intercambio preestablecido, por lo tanto se toma el resultado de la iteración 1 como la distribución mejorada que será presentada como propuesta a la empresa SOMEK S.A.

## 12 RESULTADOS

Según lo mostrado en la matriz de costos (tabla 9), se estableció un costo actual por manejo de materiales de **937.535 \$/año**. A través de la aplicación de la metodología SLP se logra una reducción, estimando un costo total de **628.138 \$/año** (tabla 11) y con la metodología CRAFT se mejoró, calculando un costo de **575.468 \$/año** (tabla 19).

Reducción total por año: **\$ 362.067**

Según los resultados obtenidos podemos calcular el porcentaje de reducción del costo conforme a la ecuación 3.

$$\% \text{ de reducción} = \frac{\text{costo inicial} - \text{costo final}}{\text{costo inicial}} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

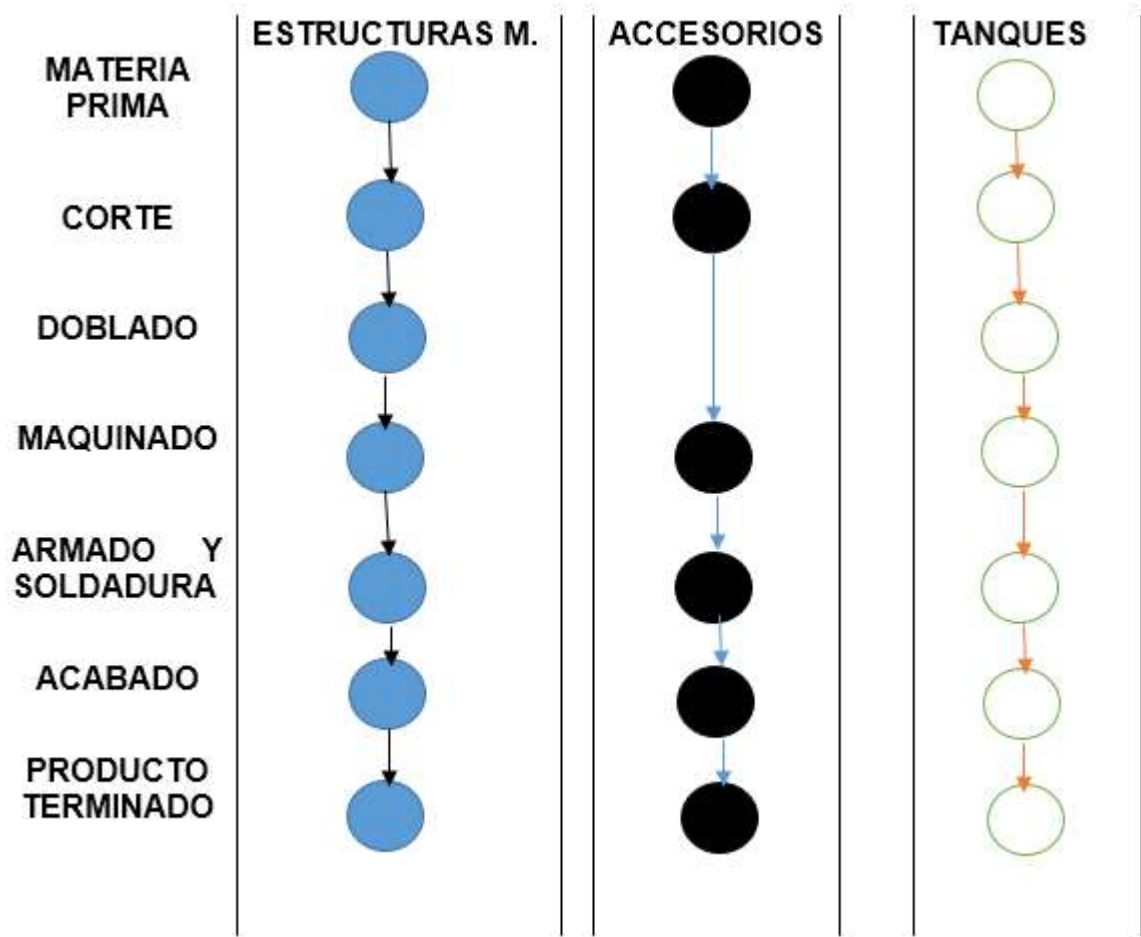
$$\% \text{ de reducción 1} = \frac{937.535 - 628.138}{937.535} * 100 = 33,0\%$$

$$\% \text{ de reducción 2} = \frac{937.535 - 575.468}{937.535} * 100 = 38,6\%$$

A partir de la nueva matriz de distancias (tabla 18) se recalculan las distancias que deben recorrer las tres líneas de productos en su proceso de fabricación con la nueva configuración de áreas, obteniendo como resultado un total de 45 metros, para tanques, estructuras metálicas y accesorios. Comparado con el recorrido actual, se logra una reducción de 44, 33 y 25 metros respectivamente.

Con base en la clasificación de los productos se establece un nuevo diagrama de recorrido en el que no se observan contraflujos en el proceso de fabricación de cada familia de productos (figura 11).

Figura 11. Diagrama de recorrido propuesto



### 13 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los hallazgos encontrados, se acepta la hipótesis general que establece que es posible reducir costos por manejo de materiales al utilizar una distribución de planta acorde al proceso de producción, además se cumple con la mayoría de requerimientos de proximidad que se consideran absolutamente necesarios y especialmente importantes: (materia prima – corte), (acabado – armado y soldadura), (producto terminado – acabado), (corte – doblado) y (maquinado – armado y soldadura), con excepción de la proximidad entre las áreas de corte y maquinado. En ese caso, se debe priorizar cuál de las dos funciones objetivo tiene más peso para el diseñador, ya que podría generarse conflicto entre obtener el mínimo costo y la máxima adyacencia al mismo tiempo.

Se evidencia que la utilización del SLP como primer método para encontrar solución a la distribución actual de la empresa, aporta un diseño y una relación de adyacencia importante, sin embargo, no es suficiente a la hora de tomar decisiones en cuanto a costo se refiere, para eso, la utilización del CRAFT permite iniciar una nueva propuesta de distribución teniendo como base los valores de cercanía que arroja el SLP como los costos en el manejo y transporte de materiales. Por lo que estos dos métodos combinados permiten realizar una propuesta acorde a las necesidades y requerimientos actuales de la compañía teniendo una disminución en su costo de manejo de materiales y a la vez un cambio significativo para la seguridad, comodidad y eficiencia de los trabajadores.

Las propuestas de distribución en planta que se realizan buscan poder ser aplicables en la realidad, teniendo cuidado en no presentar inconvenientes tanto en el costo como en las necesidades de cercanía para cada área. Para dar cumplimiento al objetivo general de este trabajo se escogerá entonces la distribución que tenga el menor costo en el manejo de materiales, la cual es presentada en la Tabla 19.



Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Wiyaratn y Watanapa en 2010, quienes logran una reducción de 37 y 23 metros en las dos líneas de producción principales del caso de estudio aplicado utilizando la metodología SLP, en otras palabras, se reduce la distancia total recorrida por el producto en su proceso de producción.

En cuanto a los costos, existe concordancia con lo presentado por Collazos (2013), quien logro una disminución de costos del 46% en un caso de estudio presentado, aplicando la metodología SLP y un algoritmo genético.

Debido a que la reducción total no es lo suficientemente alta, se debe hacer un análisis de la inversión para realizar el cambio deseado, ya que no se obtuvo una mejora razonable que sugiera el cambio inmediato de los departamentos. Cabe resaltar que la redistribución no solo mejoraría el costo por manejo de materiales, también el flujo del proceso y la comodidad de los operarios al recorrer menos distancias.

## 14 CONCLUSIONES

La metodología SLP y la heurística CRAFT resultan apropiadas para determinar la distribución de las áreas de la compañía objeto de estudio y se complementan correctamente en este caso particular. La aplicación del SLP permite tener en cuenta las características especiales en las que deben ser distribuidas las áreas, calculando la tasa total de relaciones de cada área y determinando el flujo requerido por las mismas. Con la heurística CRAFT se logró optimizar la asignación de las áreas en la zona de producción de la empresa, lográndose así una mejor ubicación de las máquinas y un costo más bajo.

Es necesario precisar que las soluciones a problemas de distribución de planta no dependen únicamente del costo y tienen que revisarse desde el punto de vista de la funcionalidad de la solución encontrada aplicada a un caso real.

Como se observa en los resultados obtenidos, la aplicación de los métodos mejora el costo de la distribución inicial en un 33,0% utilizando el primer algoritmo, y en un 38,6% utilizando el segundo algoritmo, esto demuestra la eficiencia del CRAFT para encontrar en tiempo razonable, buenas soluciones para el problema de distribución en planta.

Se recomienda a la empresa evaluar económicamente las implicaciones del cambio, y de ser viable, implementar la redistribución de planta que se retoma en la figura 10, ya que de acuerdo a las necesidades descritas y analizadas en el proyecto, es la que mejor se adapta a los requerimientos actuales de la compañía y mejora el flujo del proceso como se mostró en la figura 11. Cabe resaltar que la acomodación de las máquinas y elementos de trabajo de cada área dependerá de la experiencia del jefe de planta y la colaboración de su grupo de trabajo.

Teniendo en cuenta las relaciones de conveniencia descritas en el diagnóstico de oportunidades de mejora, se sugiere implementar estrategias que mejoren el orden y la disposición de los materiales, principalmente entre las áreas de corte y materia prima, ya que se sitúan juntas por razones no solo de flujo, sino de interacción.

También se aconseja retirar del área de trabajo los elementos que ya no son útiles, dado el poco espacio con que se cuenta, se debe aprovechar de la mejor manera; se recomienda señalar debidamente las áreas y los pasillos para garantizar la organización y la comodidad de los colaboradores, además se debe crear y fortalecer una cultura de seguridad, de prevención y de orden dentro de la organización

## 15 REFERENCIAS

- [1] Chae, J., & Regan, A., (2016) Layout design problems with heterogeneous area constraints. *Computers & Industrial Engineering*. 102, 198-207.
- [2] G.C. Armour and E.S. Buffa (1963), "A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities", *Management Science* 9(2) 294-300.
- [3] Hassan MMD, Hogg GL (1991) on constructing a block layout by graph theory. *International Journal of Production Research*. 29, 1263–1278.
- [4] Koopmans TC, Beckman M (1957) Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica* 25, 53–76.
- [5] Muther, R., (1970), *Distribución en planta, tratado sobre la ordenación racional de los elementos de producción industrial*, Barcelona, España. Editorial Hispano Europea.
- [6] Ojaghi, Y., Khademi, A., Yusof, N., (2015) Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry. *CIRP*. 26, 247-251.
- [7] Render, B., Heizer, J., (2009) *Administración de Operaciones*. Mexico. Pearson Education.
- [8] Tari, F., Neghabi, H., (2015) A new linear adjacency approach for facility layout problem with unequal area departments. *Journal of Manufacturing Systems*. 37, 93-103.
- [9] Tompkins J., White, J., (2003). *Planeación de instalaciones*. México. International Thomson Editores.
- [10] Meyers, F., Stephens, M., (2006) *Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales*. México, Pearson Education.

- [11] Kim, J., Kim, Y., (1999). A branch-and-bound algorithm for locating input and output points of departments on the block layout. *Journal of Operations Research Society* 50, 517–525
- [12] Montreuil B, Ratliff H, Goetschalckx, M., (1987) Matching based interactive facility layout. *IIE Transactions*. 19, 271–279
- [13] Burkard RE, Rend F (1984) A thermodynamically motivated simulation procedure for combinatorial optimization problems. *European Journal of Operation Research* 17, 169–174
- [14] Meller RD, Bozer YA (1996) A new simulated annealing algorithm for the facility layout problem. *International Journal of Production Research* 34:1675–1692
- [15] Heragu, S., Kusiak, A., (1990) Machine layout: an optimization and knowledge based approach. *International Journal of Production Research*. 28, 615–635.
- [16] Taghavi, A. & Murat A. (2011) A heuristic procedure for the integrated facility layout design and flow assignment problem. *Computers & Industrial Engineering* 61 pág. 55–63.
- [17] Bozer, Yavuz A. & Wang C. (2012) A graph-pair representation and MIP-model-based heuristic for the unequal-area facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, Volume 218, Issue 2, Pages 382-391.
- [18] Barreira, Tiago, Rowe, David & Kang, M., (2010) Parameters of Walking and Jogging in Healthy Young Adults. *International Journal of Exercise Science*.
- [19] Collazos, Cesar Julio. Rediseño del Sistema productivo utilizando técnicas de distribución de planta. Tesis de maestría, Manizales Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2013.
- [20] Wiyaratn, W. & Watanapa, A., (2010) Improvement Plant Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) For Increased Productivity. *World Academy Of*

Science, Engineering and Technology International Journal Of Industrial  
Manufacturing Engineering, Vol: 4, No: 12.

## 16 ANEXOS

### 16.1 TABLA DE PRODUCTOS FABRICADOS EN EL ÚLTIMO AÑO

PRODUCTO	CATEGORÍA	DEMANDA
TUBERIA PARA VAPOR DE AGUA 12"	Accesorios	12
ALEROS FACHADA PORTERÍA FABRICA	Accesorios	6
SENSORES LUMEX	Accesorios	60
FABRICACIÓN DE CRUCETAS	Accesorios	3
REPARACIÓN DE VENTILADOR PROCESADOR DE JUGOS	Accesorios	4
FABRICACIÓN OÍDOS DE VENTILADOR	Accesorios	3
FABRICACIÓN CURVAS CARRILERA CONDUCTOR DE TABLILLAS	Accesorios	2
FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE POLEA SUPERIOR PARA GRUAS HILO 1	Accesorios	5
REPARACIÓN TABIQUE CALENTADOR REGENERATIVO DE JUGOS	Accesorios	1
FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE CORTINAS TERMOFIN	Accesorios	4
FABRICACIÓN PLACA EVAPORADOR CODENSADOR INOX	Accesorios	3
FABRICACIÓN DE FLANGES EN LAMINA HR DE 3/8	Accesorios	30
FABRICACIÓN Y SUMINISTRO DE JUEGO DE SEPARADORES TIPO KOH	Accesorios	4
LAMINAS DE 3/8 1,20 X1,20 MTS	Accesorios	12
LAMINAS DE 35 CM EN PLATINA	Accesorios	9
ROLADO LAMINA DE 1/4 DE ESPESOR PARA CHIMENEA	Accesorios	2
CANALES EN PARTE TRASERA DE CAMIÓN	Accesorios	3
TUBERÍA INOX PARA MELADURA	Accesorios	4
FABRICACIÓN DE CODOS DE 10" PARA TUBERÍA ESTRUCTURAL	Accesorios	14
FABRICACIÓN DE FILTROS ¾ PARA SUCCIÓN DE ACEITE	Accesorios	12
FABRICACIÓN DE MANIFOLDS PARA VÁLVULAS DIRECCIONALES	Accesorios	4
FABRICACIÓN DE DUCTO PARA TRANSPORTE DE GAS HORNO DE CAL	Accesorios	1
TUBO ESTRUCTURAL ¾" PARA SEMÁFOROS	Accesorios	12
BASE20" X 20" EN HIERRO ESTRUCTURAL ¾"	Accesorios	12
	Accesorios	232
PUENTE MULAR SOBRE RIO VEREDA HOLANDA	E. Metálicas	1
PASAMANOS PUENTE	E. Metálicas	2
FABRICACIÓN Y MONTAJE TRAMO DE SIN FIN DE CRUDO	E. Metálicas	3
FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA VIGA IZADA PARA GRUA	E. Metálicas	3
FABRICACIÓN PORTAPOLEA VIGA IZADA	E. Metálicas	4
ARMADO Y MONTAJE DE EVAPORADOR, TACHO Y SERVICIO DE SOLD	E. Metálicas	4
FABRICACIÓN DUCTOS ELEVADOR LAMINA COLL ROI	E. Metálicas	5
FABRICACIÓN DE CAJA DE HERRAMIENTAS TIPO ESTANTERIA	E. Metálicas	15
CANALES EN CAL 14 DE 2,44 DE LONGITUD	E. Metálicas	10
FABRICACIÓN MOLINO EXPERIMENTAL	E. Metálicas	2

SIN FIN DE SOYA	E. Metálicas	3
ENSAMBLE ELEVDORA DE CANGILÓN	E. Metálicas	4
FABRICACIÓN Y MONTAJE DE MESA CAÑA	E. Metálicas	1
FABRICACIÓN ESTRUCTURA PARA TECHO CALDERA	E. Metálicas	2
FABRICACIÓN DE BASE PARA TOLVA DE ELEVADOR DE CUBO	E. Metálicas	1
FABRICACIÓN DE BRAZO NEUMATICO PARA MÁQUINA PULVERIZADORA	E. Metálicas	1
SIN FIN INOX PARA MELADURA	E. Metálicas	1
FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA CON LÁMINA ALFAJOR	E. Metálicas	1
RESTAURACIÓN DE VALVULA DE PASO PARA SILO	E. Metálicas	1
FABRICACIÓN DE ROTONDAS DE 35" INOX	E. Metálicas	3
		67
CONFORMACIÓN DE CONO	Tanques	3
ADECUACIÓN TANQUES DE COMBUSTIBLE	Tanques	6
Cabina INOX 304 FILTRACIÓN AIRE LEVADURA	Tanques	7
Tanque clarificador de agua	Tanques	3
FABRICACIÓN DE CONO	Tanques	4
FABRICACIÓN JUEGO DE CONOS ENTRADA GASES VENTILADOR TIRO	Tanques	6
CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE AGUA HELADA DE 8,6 M3 PLANTA DE	Tanques	2
FABRICACIÓN DE TANQUE PARA COMBUSTIBLE EN LAMINA HR DE 3/1	Tanques	2
FABRICACIÓN DE TANQUE EN LAMINAS HR 3/16 X 1,20 DE LONGITUD Y	Tanques	4
FABRICACIÓN JUEGO DE CONOS VENTILADOR CALDERA	Tanques	8
FABRICACIÓN DE TANQUE DE ENCALADO	Tanques	2
FABRICACIÓN DE TACHO 15 TON	Tanques	1
FABRICACIÓN DE TOLVA PARA SECADOR EXTRRUSOR	Tanques	2
FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE CLARIFICADOR DE MELADURA	Tanques	1
FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SILO DE 24 TON	Tanques	2
TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA FRÍA	Tanques	1
FABRICACIÓN DE COLADOR ROTATIVO AL VACÍO PARA CACHAZA	Tanques	1
TANQUE DE VINAGRE	Tanques	1

56



## 16.2 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO POR ÁREAS

Departamento	Equipo	Superficie estática (M <sup>2</sup> )	superficie de gravitación (M <sup>2</sup> )	Superficie de Evolución (M <sup>2</sup> )	Área para materiales en proceso (M <sup>2</sup> )	Área para producto terminado (M <sup>2</sup> )	Área total (M <sup>2</sup> )	Cantidad de máquinas
CORTE	Cortadora Steel Taylor	3,00	9,00	18	4,00	4,00	38,00	1
	Plasma Hypertherm power max 105	0,10	0,40	1	2,00	3,00	6,25	1
	Plasma PowerMax 30	0,03	0,12	0	1,00	3,00	4,38	1
	Plasma PowerMax 45	0,03	0,12	0	1,00	3,00	4,38	1
MAQUINADO	Torno Paralelo	1,50	1,50	5	0,50	0,50	8,50	1
	Taladro de Árbol Group	0,50	0,50	2	0,50	0,50	3,50	1
	Taladro Fresador	1,50	1,50	5	0,50	0,50	8,50	1
DOBLADO	Dobladora HCA Ermak	6,48	6,48	19	1,00	1,00	34,38	1
ARMADO Y SOLDADURA	Compresor Royal	2,00	6,00	12	1,00	1,00	22,00	1
	Soldador Lincoln	1,5	4,5	9	1,00	1,00	17,00	1
	Soldador Infra	1,0	3,0	6	1,00	1,00	12,00	2
	Soldador Boc	1,0	3,0	6	1,00	1,00	12,00	2
	Soldador Lincoln RX 330	3,0	9,0	18	1,00	1,00	32,00	1
	Soldador Mig-Mag Lincoln	1,0	3,0	6	1,00	1,00	12,00	2
ACABADO	Cepillo Mecánico	2,0	6,0	12	2,0	3,0	25,00	1
	Taladro Magnético TCR 32	0,3	0,3	1	0,3	0,3	1,75	4
MP y PT	Monta Carga Eléctrico	6,0	12,0	27	4,0	4,0	53,00	1
ROLADO	Roladora	2,25	2,25	7	1,5	1	13,75	1
BAÑOS	Bateria Sanitaria						8.00	1