

# UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



## POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

REDISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA  
INTEGRACIÓN DE PRODUCTOS UTILIZANDO LOS  
RECURSOS DISPONIBLES EN UNA EMPRESA DE RAMA  
METAL-MECÁNICA

# T E S I S

PRESENTADA POR

**ELVIA LIZBETH CORPUS MUSSO**

Desarrollada para cumplir con uno  
de los requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS  
DR. LUIS FELIPE ROMERO DESSENS

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.      SEPTIEMBRE DE 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Hermosillo, Sonora a 3 de septiembre de 2018

**ELVIA LIZBETH CORPUS MUSSO**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REDISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA INTEGRACIÓN DE PRODUCTOS UTILIZANDO LOS RECURSOS DISPONIBLES EN UNA EMPRESA DE RAMA METAL-MECÁNICA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

Dr. Luis Felipe Romero Dessens  
Director de tesis y Presidente del jurado

M.C. Guillermo Cuamea Cruz  
Secretario del Jurado

Dr. Jaime Alfonso León Duarte  
Vocal del Jurado

Dr. Victor Hugo Benítez Baltazar  
Vocal del Jurado

Ciudad Juárez, Chihuahua, México, a 18 de junio de 2018

## ELVIA LIZBETH CORPUS MUSSO

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REDISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA INTEGRACIÓN DE PRODUCTOS UTILIZANDO LOS RECURSOS DISPONIBLES EN UNA EMPRESA DE RAMA METAL-MECÁNICA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

DR. ROBERTO ROMERO LÓPEZ  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ  
Sinodal Externo y Vocal del Jurado



UACJ  
DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Y MANUFACTURA

## **RESUMEN**

A través del tiempo, las empresas manufactureras que buscan la mejora mediante lanzamiento de nuevos productos, han tenido la gran problemática del rediseño y distribución de procesos de sus instalaciones.

Este proyecto consiste en encontrar la mejor disposición espacial para cumplir con las medidas de desempeño propias del negocio: disminuir los desperdicios de tiempo, reducir actividades innecesarias, maximizar la seguridad del trabajador o bien, reducir los gastos de inversión inicial, entre otros.

El objetivo de este documento es proponer una metodología adaptada a la necesidad de empresas con este tipo de situaciones donde el espacio requerido es muy poco, por lo que buscan distribuir de la mejor manera posible sus áreas de trabajo y maximizar el uso de las mismas.

Dicha metodología consta de cuatro grandes fases, que van desde el estudio general actual de la empresa hasta el análisis y conclusión de los resultados. La recopilación de estos aspectos importantes se hará a través de análisis literarios basados en artículos, libros y casos de estudio relacionados al tema, así como de la información proporcionada por la empresa de aquellas características de cada estación laboral

## **ABSTRACT**

During years, manufacturing companies seeking improvement by launching new products have had a big problem of redesigning and distributing processes of their facilities.

This problem is to find the best space arrangement to meet the performance measures of the business: Reduce waste of time, reduce unnecessary activities, maximize worker safety or reduce initial investment costs, among others.

The objective of this document is to propose a methodology adapted to the need of companies with this type of situation where the required space is very little, so they seek to distribute their work areas in the best way possible and maximize the use of them.

This methodology consists of four major phases, ranging from the current general study of the company to the analysis and conclusion of the results. The compilation of these important aspects will be done through literary analysis based on articles, books and case studies related to the subject. As well as the information provided by the company of those characteristics of each workstation.

## **DEDICATORIAS**

Dedico este proyecto a mis padres, Elvia y Jorge. No hay comparación a todo el amor que siento por ustedes y el agradecimiento que siento por todo lo que siempre me han dado y hecho por sus cuatro hijos.

A mi esposo Iván. Te amo mucho amor, sólo tú sabes todo el proceso difícil que fue llegar a esto. Siempre juntos.

A mis hermanitas chulas, Suzette e Iveth. Por ser siempre tan amorosas conmigo y ser las niñas más lindas.

A mis primas Karen y Gissel. Las quiero mucho y gracias por estar conmigo en todo momento, son mis hermanas de corazón.

A mi hermano Jorge. Te quiero mucho hermano y estoy muy orgullosa de ti, gracias por estar siempre en las buenas y malas.

## **AGRADECIMIENTOS**

El primero agradecimiento va dirigido a Dios, que fue el primero en darme la señal y enviarme hasta aquí, a mostrarme el camino correcto para lograr terminar este proyecto que solo Él sabe lo que ha costado.

A mi esposo Iván, que vio corajes, sonrisas y lágrimas salir en el transcurso de este proyecto, definitivamente este logro no hubiera sido posible sin tu incondicional apoyo amor, te amo para siempre.

A mis papás, por darme la vida y por ser mi ejemplo a seguir, me siento muy orgullosa de ser su hija y la relación tan amorosa que tenemos. No me falten nunca porque son mi todo.

A mis hermanos, porque siempre saben cómo volver un momento divertido a pesar de que la situación se torne difícil.

A mis hermosas primas Karen y Gissel. Porque nunca me dejaron caer, porque son siempre mis liberadoras de estrés y siempre confiaron en mí para lograr estar donde hoy estoy. Las amo muchísimo.

A mi director de tesis, Luis Felipe Romero Dessens, por toda la paciencia y dedicación. Gracias por sus consejos, por las pláticas y por las asesorías brindadas, me encuentro infinitamente agradecida con usted.

A los demás profesores, por sus valiosas enseñanzas académicas y personales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por la beca otorgada para contar con los recursos para realizar mis estudios de posgrado.



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Presentación .....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivo general.....	3
1.4. Objetivos específicos .....	3
1.5. Hipótesis .....	4
1.6. Alcances y delimitaciones .....	4
1.7. Justificación.....	4
2. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1 Distribución de planta.....	6
2.1.1. Objetivo de la distribución en planta .....	7
2.1.2. Tipos de distribución en la industria .....	9
2.1.3. Sistemas de manufactura celular .....	11

2.2.	Problemas en una distribución de planta .....	12
2.3.	Métodos para distribución en planta .....	13
2.3.1.	Systematic Layout Planning (SLP) .....	13
2.3.2.	Estructura de componentes fuertes .....	16
2.4.	Introducción de nuevos productos .....	20
2.4.1.	Ciclo de vida del producto .....	21
2.5.	Diseño de herramental .....	22
2.5.1.	Los requisitos básicos de la instalación de mecanizado .....	23
2.5.2.	Objetivo del diseño de herramental .....	24
2.6.	Tiempos estándares.....	24
2.7.	Yamazumi .....	25
2.8.	Índice CPK .....	26
2.9.	Casos de estudio .....	26
3.	METODOLOGÍA .....	28
3.1.	Estructura metodológica .....	28
3.1.1.	Fase 1: Estudio general del estado actual.....	31
3.1.2.	Fase 2: Definición de herramientas de rediseño .....	33
3.1.3.	Fase 3: Aplicación del rediseño.....	37
3.1.4.	Fase 4: Análisis y evaluación de los resultados .....	38
4.1.	Fase I: Estudio general del estado actual .....	40
4.1.1.	Paso I: Análisis de la ubicación de la zona donde se establecerán las instalaciones .....	40

4.1.2.	Paso II: Establecimiento de la disposición general .....	43
4.2.	Fase 2: Definición de herramientas de rediseño .....	48
4.2.1.	Paso III: Determinar la matriz de adyacencia. ....	48
4.2.2.	Paso IV: Calcular la matriz de adaptabilidad. ....	50
4.2.3.	Paso V: Determinar la matriz de componentes fuertes.....	54
4.2.4.	Paso VI: Construir el Grafo de Componentes fuertes.....	55
4.2.5.	Paso VII: Equivalencia de Grafo planar.....	58
4.3.	Fase 3: Aplicación del rediseño .....	59
4.3.1.	Paso VIII: Establecer planes detallados de distribución. ....	59
4.3.2.	Paso IX: Finalizar el diseño seleccionado .....	69
4.4.	Fase 4: Análisis y evaluación de los resultados.....	70
4.4.1.	Paso X: Medición de resultados .....	70
4.4.2.	Paso XI: Creación de documentación .....	86
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	87
5.1	CONCLUSIONES .....	87
5.2	RECOMENDACIONES .....	88
5.3	TRABAJO FUTURO.....	89
6.	REFERENCIAS.....	90
7.	ANEXOS .....	95
7.1	Anexo 1. Secuencia para encontrar R8 en matriz de adyacencia. ....	95
7.2	Balanceo de estaciones de trabajo.....	97

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Industria monolineal (Pierre, 1978).....	9
Figura 2.2. Industria convergente (Pierre, 1978).....	10
Figura 2.3. Industria analíticas y divergentes (Pierre, 1978).....	10
Figura 2.4. Industria convergente y divergente (Pierre, 1978).....	10
Figura 2.5. Diseño celular (Groover,2015).....	11
Figura 2.6. Causas más frecuentes de una planta completamente nueva y expansión y traslado a una planta ya existente (Moore, 1969).....	13
Figura 2.7. Pasos de Systematic Layout Planning (Tompkins et al., 1996).....	15
Figura 2.8. Diagrama del método del Diseño de Layout basado en estructura de componentes fuertes. (Romero-Dessens,2003:115).....	17
Figura 2.9. Ciclo de vida de un producto (Arteaga,2012).....	21
Figura 2. 10 Ejemplo de gráfico de Yamazumi (Marchwinski et al., 2014).....	25
Figura 3.1. Estructura de método componentes fuertes (Elaboración propia,2017). ....	29
Figura 3.2. Estructura de método SLP (Elaboración propia,2017). ....	29
Figura 3.3. Estructura de nueva metodología para rediseño (Elaboración propia,2017).....	30
Figura 4.1. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia actual.....	42
Figura 4.2. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia actual (Continuación).....	42
Figura 4.3. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia de lanzamiento ....	43
<i>Figura 4.4. Diagrama de flujo del proceso CA</i> .....	45
Figura 4.5. Diagrama de relación de actividades (Elaboración Propia).....	47
Figura 4.6. Grafo y nodos de componentes no fuertes (Elaboración Propia).....	56
Figura 4.7. Grafo y nodos de componentes fuertes (Elaboración Propia)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.8. Grafo y nodos de componentes fuertes final (Elaboración Propia).....	57
Figura 4.9. Grafo planar de distribución de la planta.....	58
Figura 4.10. Layout propuesto general.....	59
Figura 4.11. Diagrama de relación de actividades (Elaboración Propia).....	60

Figura 4.12. Desglose parte 1, área de ensamble. ....	61
Figura 4.13. Desglose parte 2, área de pulido de pieza.....	62
Figura 4.14. Desglose parte 3, área de pulido de wheel.....	62
Figura 4.15. Desglose parte 4, área de laqueado de piezas.....	63
Figura 4.16. Desglose parte 5, área de pruebas y empaque .....	63
Figura 4. 17 Estampadores para modelos Plus de Cutting Attachment.....	64
Figura 4.18. Sujetador para estampado para modelos nuevos.....	65
Figura 4.19. Sujetador para colocación de mezclador. ....	65
Figura 4.20. Diseño de Ensamble de sujeción Cone End-Cuerpo antorcha. ....	66
Figura 4.21. Diseño de Ensamble de sujeción Cone End-Cuerpo antorcha. ....	67
Figura 4.22. Diseño de Soporte para ensamble de válvula.....	68
Figura 4.23. Diseño final propuesto .....	69
Figura 4.24. Layout del proceso antes de los cambios propuestos.....	70
Figura 4.25. Layout del proceso antes de los cambios propuestos, área de ensamble. ....	71
Figura 4.26. Layout del proceso después de los cambios propuestos, área de ensamble. ....	72
Figura 4. 27 Distribución de empaque antes de la implementación. ....	73
Figura 4. 28 Distribución de empaque después de la implementación. ....	73
Figura 4. 29 Estaciones de trabajo de sección 2 .....	74
Figura 4. 30 Hoja de Balanceo con Yamazumi correspondiente a sección 1.....	75
Figura 4. 31 Yamazumi para área de pulido, sección 2 .....	76
Figura 4. 32 Yamazumi para pulido de Wheel, sección 3. ....	77
Figura 4. 33 Yamazumi para estación de laqueado, sección 4.....	78
Figura 4. 34 Yamazumi de estaciones de trabajo de sección 5. ....	79
Figura 4. 35 Estaciones de trabajo con operadores en cada área de trabajo, sección 5. ....	79
Figura 4.36. Plano con especificación de torque en estación 4 y 6.....	80
Figura 4.37. Plano con especificaciones de torque en estación 9. ....	81
Figura 4.38. CPK de estación 4, ensamble de mezclador .....	82

Figura 4.39. Resultado del diseño del sujetador de Cutting attachment Estación 4.....	82
Figura 4.40 CPK de estación 6, ensamble de cone end .....	83
Figura 4.41. Resultado del diseño del elemento de fijación estación 6. ....	84
Figura 4.42. CPK de estación 9, ensamble de válvula.....	85
Figura 4.43. Resultado del diseño del elemento de fijación estación 9. ....	85
Figura 5.1 Fixture de sujeción para estampado de piezas .....	88

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Valores de ponderación SLP. ....	<b>32</b>
<b>Tabla 3.2.</b> Tabla de interrelaciones entre cada estación.....	<b>32</b>
<b>Tabla 3.3.</b> Tabla de volumen desde-a, de adyacencia y de frecuencia de desplazamientos. ....	<b>33</b>
<b>Tabla 4.1.</b> Tabla de secuenciado para modelos CA. ....	<b>41</b>
<b>Tabla 4.2.</b> Tabla desde-hasta del proceso y su secuencia .....	<b>46</b>
<b>Tabla 4.3.</b> Tabla demanda-Secuencia de productos .....	<b>48</b>
<b>Tabla 4.4.</b> Tabla volumen Desde-Hasta.....	<b>49</b>
<b>Tabla 4.5.</b> Matriz de adyacencia de desplazamiento .....	<b>49</b>
<b>Tabla 4.6.</b> Matriz de frecuencia de desplazamientos .....	<b>50</b>
<b>Tabla 4.7.</b> Matriz de Identidad .....	<b>51</b>
<b>Tabla 4.8.</b> Matriz de Identidad con módulo (M1).....	<b>52</b>
<b>Tabla 4.9.</b> Matriz de adyacencia con módulo (M1) .....	<b>52</b>
<b>Tabla 4.10.</b> Matriz de adaptabilidad.....	<b>53</b>
<b>Tabla 4.11.</b> Matriz de adaptabilidad R2 .....	<b>53</b>
<b>Tabla 4.12.</b> Matriz de adaptabilidad R8 .....	<b>54</b>
<b>Tabla 4.13.</b> Matriz transpuesta de R8.....	<b>54</b>
<b>Tabla 4.14.</b> Matriz de componentes fuertes.....	<b>55</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

El tema de la planificación de instalaciones ha sido un tema popular por muchos años. A pesar de su larga trayectoria, es uno de los temas más notorios de las conferencias e investigaciones actuales (Tompkins et al., 2016).

Para Tarazona et al. (2014), el problema de distribución de planta se encuentra más relacionado con la disposición de las máquinas, los departamentos, las estaciones de trabajo, las áreas de almacenamiento, los pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente. Por su parte, Ariful et al (2017) opina que, para mantenerse competitivos en el mercado, las industrias manufactureras deben concentrarse en mejorar la productividad a través del diseño sistemático.

La dinámica del entorno al cual se enfrenta las empresas, genera la necesidad de que estas sean flexibles. El hablar de sistemas flexibles de manufactura implica el estudio de la rapidez con la que estos sistemas pueden modificarse o bien reconfigurarse de modo que no sean fijos o estáticos, respondiendo a los requerimientos de los clientes y de esta forma hagamos los sistemas viables y adecuados para distintos fines (Lau y Mak, 2004).

Por este motivo, es común la práctica de productos de nuevo lanzamiento para mantenerse dentro del mercado y, sobre todo, ser líderes a nivel mundial competitivo. Para facilitar la incorporación de los artículos de lanzamiento a sus actuales procesos, se utilizan diversas metodologías que permiten ahorro de inversión inicial, mejoramiento en el flujo de materiales y optimizar personal dentro de la planta, logrando un aumento en la producción y grandes beneficios que la empresa obtiene al practicar todas esas prácticas.



## 1.1. Presentación

Las instalaciones pueden ser ampliamente definidas como edificios donde la gente utiliza material, máquinas y otros recursos para hacer un producto tangible o proporcionar un servicio. Debido a varias fuerzas internas y externas, es importante que una instalación se administre adecuadamente de manera que el objetivo propuesto se logre (Heragu, 2016).

Por lo general, estas decisiones de disposición de la planta se ignoran o no reciben la atención adecuada durante el diseño de las plantas industriales. Sin embargo, el aumento de la competencia hace que los contratistas y las compañías busquen posibles ahorros en todas las etapas del proceso de diseño. En general, el problema de disposición del proceso de la planta puede caracterizarse por una serie de factores de costo o de gestión de ingeniería (Patsiatzis y Papageorgiou, 2012).

La presente investigación se desarrollará en una empresa industrial de carácter internacional, dedicada a la fabricación de equipo de corte y soldadura de metales, la cual cuenta con varios departamentos que logran cumplir con actividades específicas para el manejo de la compañía. Estos departamentos están divididos en siete grandes categorías: Producción, Calidad, Materiales, Contabilidad, Recursos Humanos, Mantenimiento e Ingeniería.

En México, esta empresa cuenta con más de quince años de trayectoria y actualmente elabora productos de distintos clientes. Entre los principales están: Thermadyne, ESAB, Tweco, Victor Technologies y Turbotorch.

El departamento de ingeniería de diseño, ubicado en Denton, Texas, ha creado una versión nueva de una familia de productos de Victor Technologies, manufacturados en una de las líneas de producción de ensamble, denominada Cutting Attachment, en la planta de Hermosillo, Sonora. Debido a esto, se requiere realizar el diseño de la distribución del proceso e instalaciones que se llevará a cabo para el lanzamiento de esta

familia, así como la secuencia de operaciones para realizar el ensamble y las pruebas funcionales.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Dentro de la empresa Victor Technologies, ubicada en Hermosillo, Sonora se encuentra el área *Cutting Attachment*, la cual tendrá el lanzamiento de nuevos modelos de uno de sus productos, por lo que se busca organizar e integrar los recursos disponibles para obtener la mejor secuencia de operaciones del producto nuevo y estandarizar los tiempos de las estaciones que resulten afectadas por el nuevo producto, con la intención de eliminar actividades innecesarias y disminuir los desperdicios de tiempo.

También es importante tener elementos de fijación para cubrir las necesidades de los nuevos productos y ensamblarlos durante el proceso facilitando su elaboración (ensamble) y sin afectar su apariencia y reduciendo los riesgos laborales al efectuar las operaciones respectivas

## **1.3. Objetivo general**

Realizar el rediseño de una línea de producción en la empresa en base a la metodología de estructuras de componentes fuertes, para organizar, distribuir y estandarizar el proceso de ensamble de los nuevos sopletes de corte de soldadura, y simultáneamente reducir los desperdicios de tiempo y operaciones innecesarias.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Aplicar la metodología de estructura de componentes fuertes al proceso bajo estudio, para obtener la distribución recomendable para la elaboración de ambas versiones de productos en una misma línea.

- Diseñar y supervisar la fabricación del herramental de fijación para la maquinaria de uso para el ensamble.
- Establecer tiempos estándares para las estaciones de trabajo y balancear la línea de producción de los Cutting Attachment.
- Evaluar el rediseño de la línea de ensamble mediante las métricas establecidas contra los parámetros de diseño.

### **1.5. Hipótesis**

El rediseño de una línea de producción, a partir de la metodología basada en componentes fuertes, permitirá el mejor uso posible de los recursos disponibles utilizados para la integración de productos nuevos.

### **1.6. Alcances y delimitaciones**

El proyecto se realizará únicamente para la familia de productos llamada *Cutting Attachment* del proyecto *Plus Torch* de la marca Victor Technologies, puesto que es el modelo donde se estima la mayor demanda. La empresa podrá utilizar la metodología para otros productos que también forman parte de este proyecto.

### **1.7. Justificación**

El proyecto se desarrollará para apoyar a la empresa con un diseño en donde se agilice el flujo de materiales, se cumpla oportunamente con los compromisos de producción, y se reduzca el desperdicio de tiempo. Al tratarse de un proyecto de lanzamiento, ayudará a la empresa a reducir los gastos en la inversión inicial y conseguir el mejor uso de los recursos con los que actualmente cuenta.

## Introducción

De igual manera, habrá un control en el herramental implementado en los recursos disponibles de trabajo que formen parte de la fabricación del producto nuevo, el cual facilitará el desarrollo de las actividades productivas.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

Para lograr sobresalir ante la competencia que existe hoy en día, una empresa deberá contar con ventajas tecnológicas, económicas y/o informáticas que le ayude a generar mejores diseños de sistemas de producción y alcanzar una gran variedad de productos de buena calidad a un costo mínimo.

En el presente capítulo de investigación se tomaron en cuenta temas relacionados con los textos de mayor relevancia para el caso de estudio. Se comenzará con conceptos de distribución de planta, los tipos de distribución, métodos para aplicar la distribución de una planta, conceptos básicos de lanzamientos de nuevos productos, diseño de herramental, entre otros.

### **2.1 Distribución de planta**

A través del tiempo, el problema de distribución en planta ha sido entendido de distintos puntos de vista. Caputo et al. (2015), afirman que este problema consiste en encontrar la disposición espacial de un conjunto de instalaciones acorde con la información obtenida y considerando las conexiones que deben existir entre ellas para organizar de manera más eficiente la producción y aumentar la seguridad de la planta.

Según Cortés (2007), la distribución en planta consiste en resolver el problema de colocar todos los componentes físicos que intervienen en un proceso de fabricación, de modo que su comportamiento sea óptimo, desde el mayor número de puntos de vista posibles.

Una distribución de planta puede comprender solamente un lugar de trabajo individual, o la ordenación completa de muchas áreas de uso industrial, pero, cualquiera sea el caso, debe ser considerada para lograr una distribución eficiente, que será plasmada en el plano de localización de los equipos (Anaya, 1998).

Han et al. (2013) consideran que a la hora de ubicar cada una de las dependencias de una empresa, no solo se deben tener en cuenta los costos que involucra el proceso, sino también la seguridad que debe dar el diseño y localización de las instalaciones a cada uno de los operarios. Es por ello, que la clave del éxito competitivo se sitúa en recursos pertenecientes a la propia empresa según plantea Sule (2001), además menciona que la planeación de instalaciones está integrada por dos elementos, la ubicación de la instalación, la cual hace referencia a la localización física de la planta, y el diseño de instalaciones, el cual se refiere a los sistemas de la planta (sistemas estructurales, atmosféricos, eléctricos, sanidad), la disposición (equipo y maquinaria) y el sistema de manejo de materiales.

Por otra parte, Meyers y Stephens (2013) mencionan que los diseñadores de instalaciones desean promover el uso de todo el espacio de la planta. Este concepto se conoce como “utilización del cubo de construcción”. Consiste en utilizar las dimensiones verticales de la instalación tanto como las horizontales. No hay que olvidar que mientras la tierra se compra con base en unidades cuadradas, el espacio se obtiene en unidades cúbicas.

Ahora bien, es conocido que el diseño de la planta es una manera de reducir el costo de fabricación y aumentar la productividad, garantizando un buen flujo de trabajo en el proceso de producción (Prasad et al.,2016).

### **2.1.1.Objetivo de la distribución en planta**

Existen varios autores que han mencionado los objetivos que una distribución en planta puede tener, a continuación, se listan algunos de ellos:

Para Muther (1981) el objetivo principal de la distribución en planta, consiste en el proceso de encontrar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo, que sea la más económica para el trabajo, para el almacenaje, movimientos de materias y equipos, ya sean de producción o de taller, al mismo tiempo que sea la más segura y satisfactoria para los empleados y el medio ambiente. Por lo que los objetivos para Muther son:

- Acortamiento del tiempo de producción.
- Ahorro de espacio.
- Disminución del riesgo para el material y su calidad.
- Disminución de la congestión y confusión.
- Disminución en los retrasos de producción.
- Elevación de la moral y satisfacción de los trabajadores.
- Mayor empleo de la mano de obra y de los servicios.
- Mejora y facilidad en la supervisión.
- Incremento de la producción.
- Reducción del manejo de materiales.
- Reducción del material en proceso.
- Reducción del trabajo administrativo y del trabajo indirecto en general.
- Reducción de riesgos para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.

Para Riojas (2005), la distribución en planta busca encontrar la ordenación de los equipos y de las áreas de trabajo más económica y eficiente, así como segura y satisfactoria para los trabajadores y, que además cumpla con los objetivos de localización, diseño y necesidades de la empresa, todo ello para optimizar el flujo de materiales y obtener un sistema productivo más eficiente. Una eficiente distribución en planta permite alcanzar los siguientes aspectos:

- Disminución de la congestión del flujo de materiales.
- Supresión de áreas ocupadas innecesariamente.
- Reducción del trabajo administrativo e indirecto.
- Mejora de la supervisión y el control.
- Mayor facilidad y mejor utilización de la mano de obra, la maquinaria y los servicios.
- Reducción de las mantenciones y del material en proceso.
- Disminución del riesgo de daños material o de su calidad.

- Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.

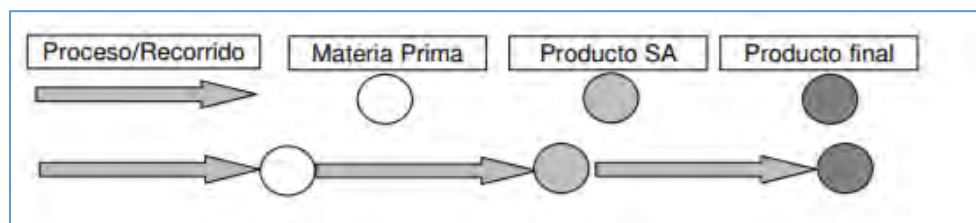
### 2.1.2. Tipos de distribución en la industria

Para la mejora de un sistema productivo, es necesario organizar de forma eficiente, los elementos que lo integran, dentro del espacio disponible que posee la organización. Esto nos obliga a considerar un aspecto relevante del proceso productivo, como lo es el movimiento de materiales o materias primas para la elaboración de los productos (Contreras, 2010).

Según Pierre (1978) se dividen en cuatro los tipos de distribuciones en la industria:

#### 2.1.2.1. Distribución tipo industrias monolineales

La fabricación se realiza a lo largo de un circuito único, donde los productos se desplazan sucesivamente. Este tipo de distribución se emplea para tratar materias primas en la elaboración de productos únicos. La figura 2.1 muestra el ejemplo de este:

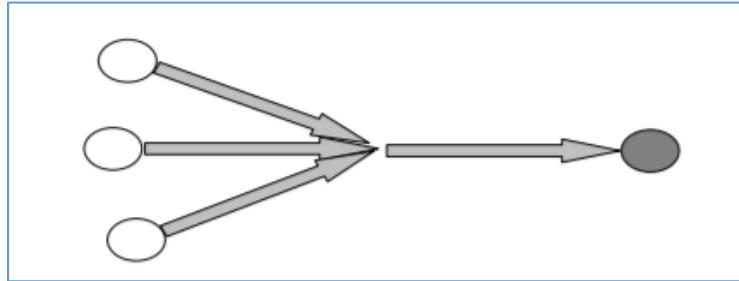


*Figura 2.1. Industria monolineal (Pierre, 1978)*

#### 2.1.2.2. Distribución tipo industrias sintéticas o convergentes

En este tipo de distribución, los productos semiacabados o materias primas llegan de diferentes puntos, convergiendo todos a una línea final de montaje. En la figura 2.2 se tiene un ejemplo de industrial convergente:

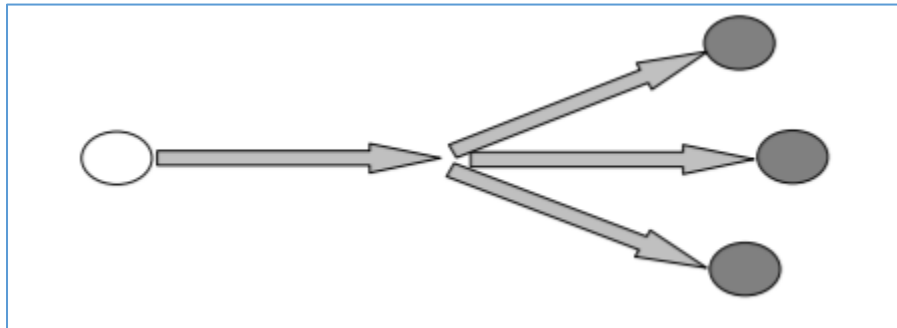




*Figura 2.2. Industria convergente (Pierre, 1978)*

### 2.1.2.3. Distribución tipo industrias analíticas y divergentes

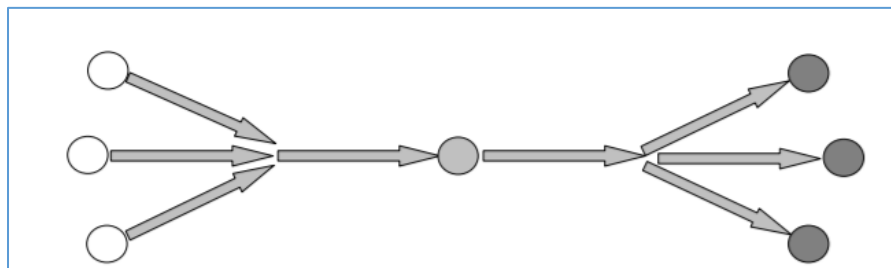
En la figura 2.3 se muestra un ejemplo de divergente. La materia prima a lo largo del proceso, diverge en diferentes líneas originando una serie de productos diferentes.



*Figura 2.3. Industria analíticas y divergentes (Pierre, 1978)*

### 2.1.2.4. Distribución tipo industria convergente y divergente.

Este tipo de distribución es un híbrido de los antes mencionados, la figura 2.4 muestra un ejemplo de este. Consiste en que las materias primas en diferentes procesos convergen en un producto intermedio para luego divergir en diferentes productos particulares.



*Figura 2.4. Industria convergente y divergente (Pierre, 1978)*

### 2.1.3. Sistemas de manufactura celular

En ambientes de manufactura flexible, la conformación celular es adecuada para mejorar los flujos del proceso, tiempos de ciclo y calidad del producto. Su papel consiste en definir una conformación de familias de productos y células que permita el procesamiento de una o más familias dentro de una misma célula. Sin embargo, es posible que esta situación no suceda por restricciones del sistema que obligan a que el material deba desplazarse a otras células para completar su proceso, presentándose flujo intercelular, que se incrementa cuando el volumen de producción es alto; ello implica movimientos excesivos de producto en proceso y tiempos de espera que generan inadecuada ubicación o pérdidas de partes, además de contribuir al daño de productos debido al movimiento o las interferencias que se puedan presentar (Salazar et al., 2010).

Para Groover (2015), el procesamiento o ensamblaje de diferentes partes o productos se lleva a cabo en celdas de varias máquinas de trabajo. Cada celda está diseñada para producir una variedad limitada de tipos de pieza: es decir, la célula se especializa en la producción de un conjunto dado de partes o productos similares, de acuerdo con los principios de grupo de tecnología. El diseño se denomina celular que se encuentra representado en la figura 2.5.

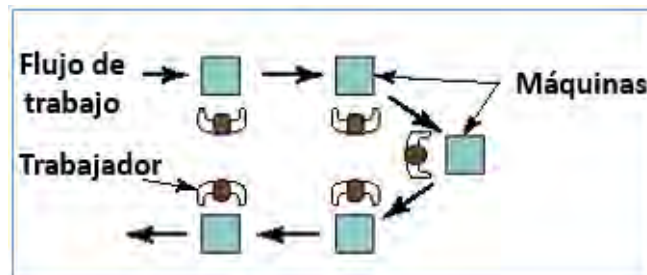


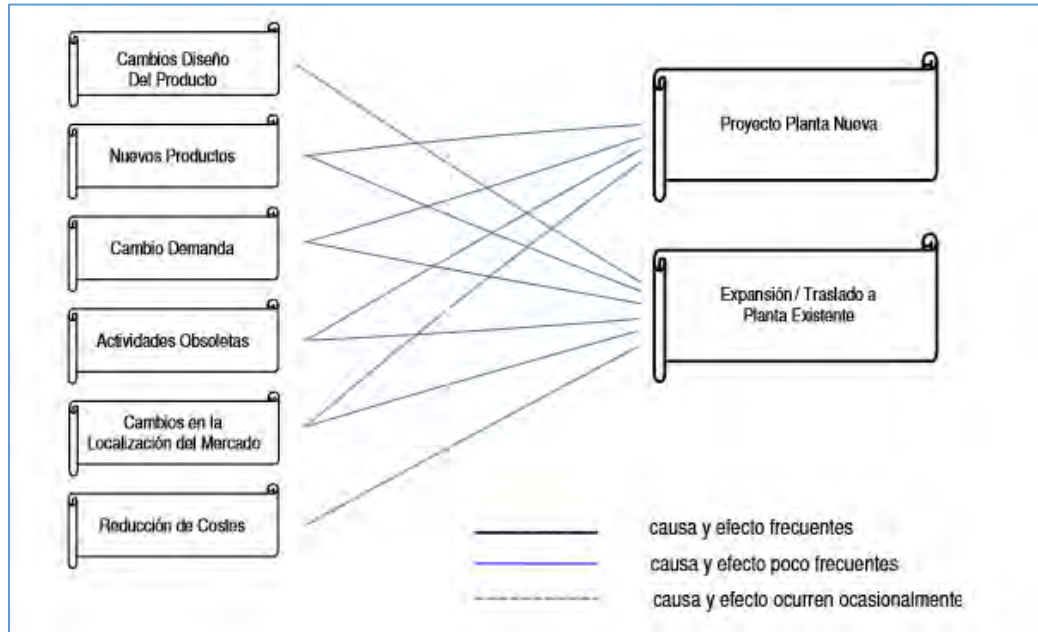
Figura 2.5. Diseño celular (Groover,2015)

## **2.2. Problemas en una distribución de planta**

Los tipos básicos de problemas de distribución de planta son cuatro (Moore, 1969):

1. Proyecto de una planta completamente nueva. Cuando no existe aún una estructura física y el proceso de implantación implica el diseño de la misma. El proyecto de distribución, deberá determinar el diseño del edificio para la ubicación del proceso y áreas administrativas.
2. Expansión y traslado a una planta ya existente. Cuando los sistemas productivos se instalan en una planta ya existente, se tiene una limitante a la hora de hacer la distribución de acuerdo con las necesidades de producción.
3. Reordenación de una planta ya existente. Es la realización de cambios considerables en planta, para adecuarlos a las necesidades de los nuevos sistemas, entorno económico o procesos productivos.
4. Ajustes Menores en distribuciones ya existentes. Implica cambios poco considerables en la estructura de planta para adecuarlo a las nuevas circunstancias.

En la figura 2.6 se muestra la relación entre las causas expuestas por Moore (1969) y la distribución en planta:



**Figura 2.6. Causas más frecuentes de una planta completamente nueva y expansión y traslado a una planta ya existente (Moore, 1969).**

## 2.3. Métodos para distribución en planta

No existe un método exclusivo para el diseño de una distribución en planta, lo que a su vez hace posible que, al utilizar una técnica determinada, esta se pueda modificar o combinar con otra(as) técnica(as) según las necesidades lo requieran y así obtener mejores resultados (González, 2012).

En el presente apartado se explican algunos métodos que son de gran uso en la distribución en la planta:

### 2.3.1. Systematic Layout Planning (SLP)

Un enfoque utilizado para el diseño de la instalación se llama SLP (Systematic Layout Planning) es por lejos el acercamiento más popular usado en la práctica. Aunque esta técnica se desarrolló a finales de 1960, es ampliamente utilizado incluso hoy en día (Heragu, 2016).

En la década de 1980, este método se introdujo en China y se aplicó ampliamente entre los sistemas de producción y servicio (Ye and Zhou, 2005). El objetivo de esta metodología es buscar la minimización de distancias recorridas por los materiales, estructuración lógica de procesos, minimización del espacio necesario, satisfacción y seguridad de los operarios y flexibilidad para ampliaciones o modificaciones futuras. En pocas palabras, es un método organizado para realizar la planeación de una distribución (Tarazona et al., 2014)

Es sugerido utilizar un enfoque de procedimiento SLP para la mejora del diseño del proceso de producción, ya que presenta tanto la sencillez del proceso de diseño como la objetividad del proceso de evaluación de múltiples criterios en oposición a los enfoques algorítmicos existentes, que son ineficaces para resolver problemas objetivos cualitativos y enfoques de procedimiento regulares que carecen de un criterio estructural de evaluación de múltiples criterios (Ariful et al., 2017).

### **2.3.1.1. Pasos del SLP**

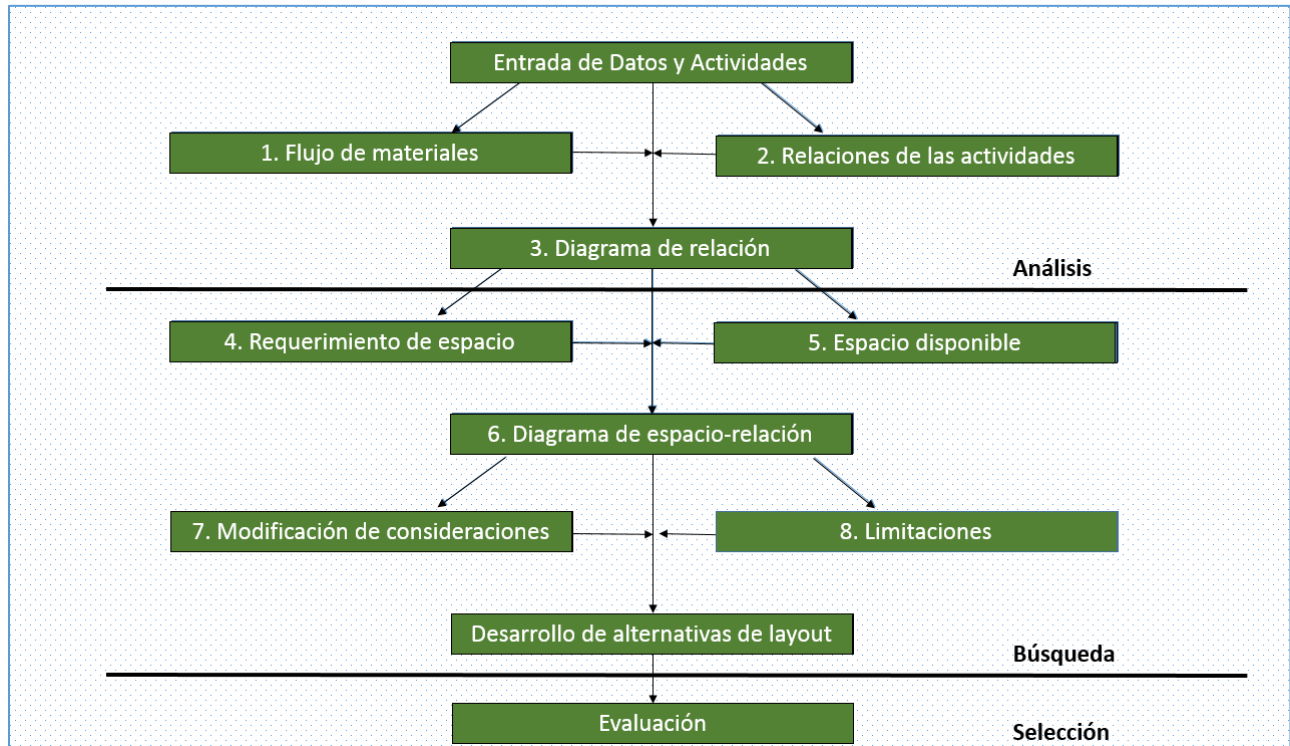
Muther (1973) define el método SLP como un sistema compuesto por 5 pasos interrelacionados entre ellos y con el entorno que los rodea. A continuación, se describen estos:

**Paso 1.** Determinación de la ubicación de la zona donde se establecerán las instalaciones. Es esta fase en la que se identifica el espacio disponible para el diseño.

**Paso 2.** Establecimiento de la disposición general. Esta segunda fase implica el marco de referencia que sustenta el procedimiento, como se muestra en la figura 2.7. Esta fase también se conoce como "disposición de bloques".

**Paso 3.** Establecer planes detallados de distribución. Una vez que una posición bruta relativa es definido en el paso anterior, entonces la ubicación de componentes específicos es creada. El procedimiento detallado de disposición sigue el mismo procedimiento utilizado en la fase dos y se repite según sea necesario hasta que todos

**Paso 4.** Finalizar el diseño seleccionado. Una vez que todos los diseños detallados son aprobados entonces la información proporcionada se utiliza en el desarrollo de dibujos, y la se prepara el diseño final.



*Figura 2.7. Pasos de Systematic Layout Planning (Tompkins et al., 1996)*

El enfoque comienza estableciendo los datos de entrada requeridos, que son clasificados en cinco categorías:

- P Producto: Tipos de productos a fabricar.
- Q Cantidad: volumen de cada tipo de pieza.
- R Routing: Secuencia de operación para cada tipo de pieza.
- S Servicios: servicios de apoyo, vestuarios, estaciones de inspección, y otros servicios.
- T Tiempo: tiempos de proceso que determinarán el recurso requisitos para llevar a cabo los arreglos de acabado.

### **2.3.2. Estructura de componentes fuertes**

Romero-Dessens (2006) propone un modelo estructural de componentes fuertes, con fundamentos en SLP. Esta estructura única se construye al integrar la secuencia de producción de diversos productos. En este, un grafo que es un conjunto de nodos y aristas, donde los nodos representan los centros de trabajo, máquinas o cualquier instalación requerida para elaborar un producto; y las aristas, representan la existencia de una interacción entre cualquier par de nodos, que puede ser el volumen de transferencia de un lote de productos, o la consecución de actividades.

El interés del diseño de disposición en esta metodología implica la producción de múltiples productos donde los recursos de fabricación, en particular máquinas o estaciones de trabajo, tienen que ser compartidos. Algunas de las preguntas surgen, tales como: ¿qué configuración máquinas deben tener para ser capaz de producir los diferentes productos?; ¿cómo se pueden colocar las máquinas con el fin de minimizar la cantidad de distancia de viaje?; ¿cómo deben ser con el fin de minimizar el tiempo de viaje entre máquinas y qué la configuración de las máquinas minimiza los costes de manipulación del material? La mayoría o la totalidad de estas preguntas requieren como datos de entrada para cada producto: volúmenes de demanda, secuencias de operación del producto, tiempos de operación del producto y recorrido estimado distancias y tiempos entre máquinas (Romero-Dessens, 2003).

### 2.3.2.1. Pasos de metodología de estructura de componentes fuertes

En la figura 2.8 se explican los 5 pasos de la metodología de estructura de componentes fuertes (Romero-Dessens, 2003):

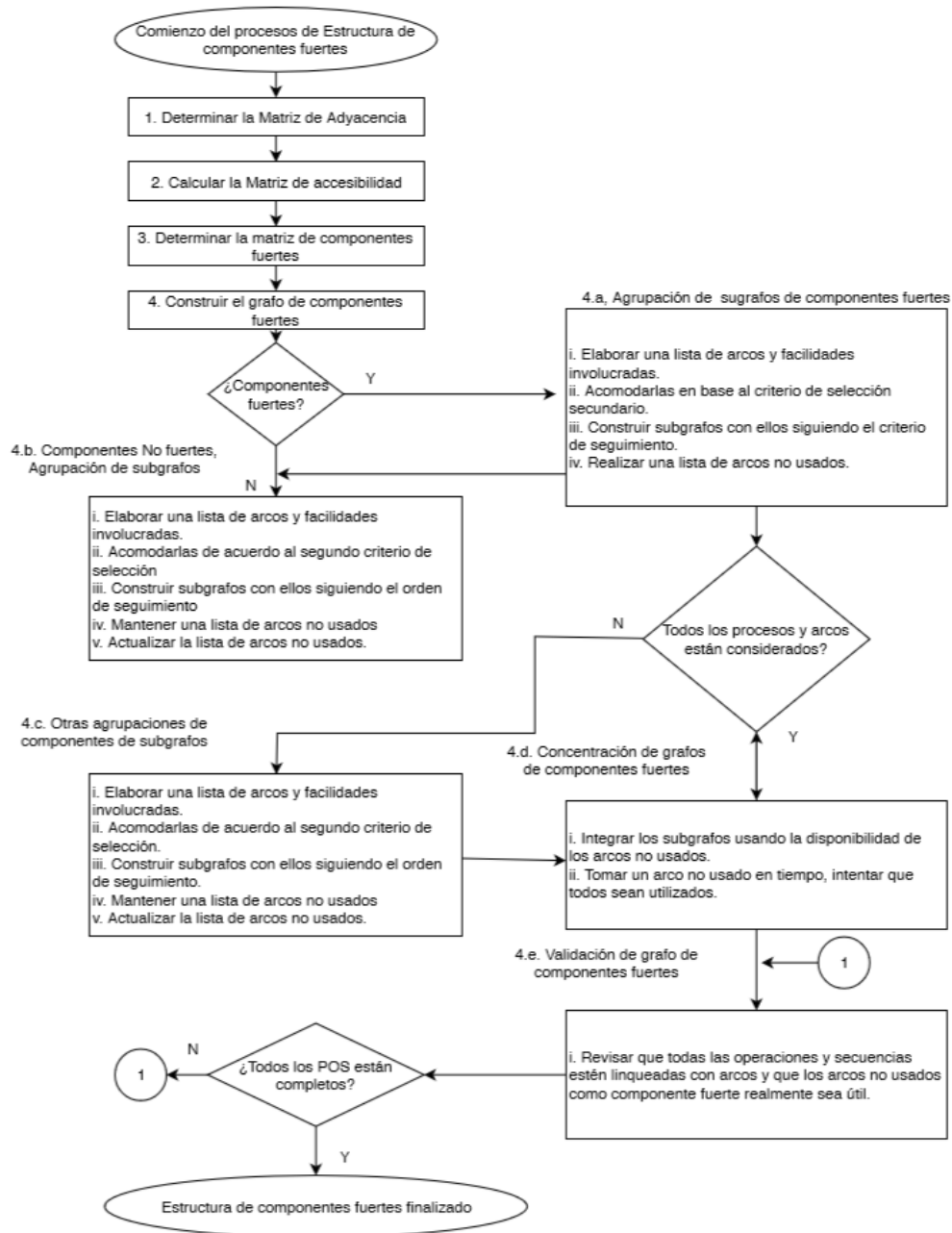


Figura 2.8. Diagrama del método del Diseño de Layout basado en estructura de componentes fuertes. (Romero-Dessens,2003:115)



## 1. Determinar la matriz de adyacencia

Para construir la matriz de adyacencia  $A(D)$ , se necesita determinar primero el número de las máquinas necesarias para la fabricación de todos los productos.

Para proporcionar las entradas a la matriz de adyacencia, considerando cada producto de secuencia disponible, se debe marcar una frecuencia en la matriz para cada arco distinto de la secuencia. Después de cualquier arco dado que ya ha sido marcado en la matriz de adyacencia y no es necesario volver a marcarlo cuando sea requerido por otro producto.

## 2. Calcular la matriz de accesibilidad

Para cualesquiera nodos  $n_i$  y  $n_j$  en un digrafo  $D$ , se dice que  $n_j$  es alcanzable o accesible desde  $n_i$  si existe una secuencia de nodos y arcos de  $n_i$  a  $n_j$ . Esta ruta o secuencia también se conoce como una **sub-gráfica dirigida**. Esto puede sugerir nodos con características particulares. Una fuente es un nodo que puede alcanzar cada nodo en un digrafo. A la inversa, un nodo se llama un sumidero cuando es accesible desde todos los puntos contenidos en el digrafo.

Considerar la adyacencia matriz  $A(D)$  como punto de partida. Se puede demostrar que todo poder que la matriz de adyacencia tiene un significado específico. Por ejemplo, si la matriz de adyacencia se eleva a la segunda potencia, entonces los valores obtenidos proporcionan todos los números de secuencias de longitud dos que existen en la estructura de cualquier nodo a cualquier otro; y todas las entradas tienen un significado similar para cualquier otra potencia a la cual se eleva la matriz. Una matriz especial modificada de potencia es su correspondiente matriz booleana: es decir, para cada entrada mayor que cero en las matrices de potencia se coloca un valor de uno, y un cero si es de la otra manera.

### **3. Determinar la matriz de componentes fuertes**

Para obtener la matriz es necesario calcular la transposición de la matriz de accesibilidad denotado como  $R'(D)$ , y luego realizar una operación AND Booleana, componente por componente. Si una entrada en la Matriz de alcanzabilidad implica que la instalación  $j$  es accesible desde la instalación  $i$ , y su transposición implica que la instalación  $i$  es accesible de la instalación  $j$ , entonces esto sugiere que estas instalaciones son *componentes fuertes* ya que son mutuamente accesibles. Por otro lado, si las entradas diagonales pertenecen a relaciones entre los mismos componentes pueden ser ignorados.

### **4. Construir el Grafo de Componentes fuertes**

Este paso está subdividido en seis pasos que se mencionan a continuación:

4a) Localizar los componentes fuertes y graficar sus arcos usando su matriz de desplazamientos o seleccionando el criterio secundario.

4b) Identificar los componentes no fuertes con nodos y graficar sus arcos usando el criterio secundario de estabilización.

4c) Si hay nodos restantes que deben considerarse, clasificarlos según el criterio secundario seleccionado y construir sus sub-gráficas.

4d) Utilizando los arcos disponibles de la lista de arcos no utilizados, enlazar todos los subgráficos, incluidas las instalaciones individuales, en su caso.

4e) Revise todas las secuencias de operación del producto completar el gráfico y agregar enlaces según sea necesario.

4f) Si son satisfactorios entonces el proceso ha terminado; de otra manera continuar y revisar desde el paso 4e.

## **5. Equivalencia de Grafo planar**

El Gráfico Dirigido de Componente Fuerte tiene equivalencia gráfica. Esta equivalencia se puede utilizar como una representación alternativa de la red basado en una representación pictórica de borde. La diferencia conceptual entre gráficos dirigidos y gráficos es que los arcos se utilizan para mostrar las interrelaciones en lugar de los bordes utilizados en el gráfico.

## **2.4. Introducción de nuevos productos**

La introducción de nuevos productos en el mercado es cada vez más difícil debido a la competencia, las tendencias de la moda, la escasez de implementación de tecnologías apropiadas y la complejidad de la legislación. Históricamente, la mayoría de las industrias han ofrecido productos con ciclos más grandes, cuyos fabricantes exigen productos de mayor calidad con más garantías (Lugo-Márquez et al., 2016).

En el caso del rediseño de productos que, como su nombre indica, parte de productos existentes, el rediseño modular permite mejorar el diseño de una planta que ya está en funcionamiento, reduciendo los tiempos de montaje y fabricación y haciéndolo más flexible para desarrollar una gran variedad de productos a menor costo y con tiempos de entrega más cortos (Gupta 2013).

Vokurka y O'Leary-Kelly (2000) por su parte, mencionan que, para satisfacer las necesidades de los clientes, es necesario que las empresas cuenten con plantas de producción organizadas y flexibles. Esto significa que, según los productos que la empresa quiere lanzar en el mercado, debe tener la posibilidad de realizar cambios en sus procesos de fabricación y montaje, e incluso en la distribución de la planta. En la mayor parte de la industria de ingeniería, los procesos de diseño y de preparación para la fabricación tienen lugar en diferentes departamentos, con personal que no se superpone.

Dado que los mercados globales están cada vez más segmentados, la arquitectura modular de los productos se está implementando para nuevos diseños de productos en un número creciente de empresas (Daniilidis et al., 2011).

A medida que más productos llegan al mercado, pierden fácilmente validez, cambian el valor de mercado y pueden disminuir sus márgenes de rentabilidad, incluso convirtiéndolos en productos obsoletos e inútiles (Nonaka 2000).

### 2.4.1. Ciclo de vida del producto

Normalmente, la aplicación del análisis de riesgos de la calidad en el ciclo de vida de un producto es un punto a considerar, lo que lleva a la industria a estudiar y disponer de la información más completa y detallada sobre el conocimiento de sus productos y sus operaciones de fabricación (Milá et al., 2010).

En la figura 2.9 muestra gráficamente el comportamiento del ciclo de vida de un producto, de forma que algunos de los productos no pasan de su etapa de introducción y mueren rápidamente, mientras que otros productos pueden pasar de la etapa de introducción y crecimiento a la madurez de forma rápida y permanecer por décadas en esa misma etapa (Arteaga, 2012).

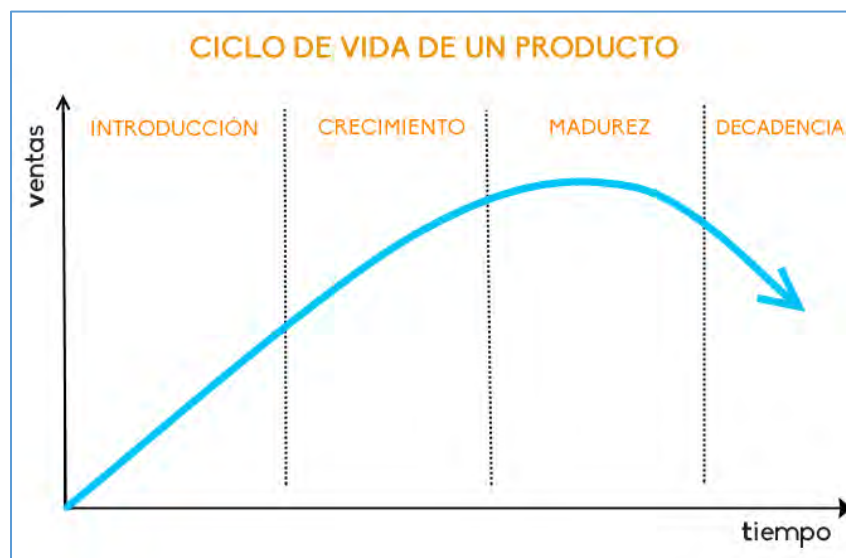


Figura 2.9. Ciclo de vida de un producto (Arteaga,2012).

## 2.5. Diseño de herramental

Para facilitar la flexibilidad de la organización y de los negocios, el diseño modular de un producto es esencial, ya que, desde la concepción del producto, el diseño de la planta de producción debe ser considerado. En el caso del rediseño de productos que, como su nombre indica, permite mejorar el diseño de una planta que ya está en funcionamiento, reduciendo los tiempos de montaje y fabricación y haciéndolo más flexible para desarrollar una gran variedad de productos a menor costo y con tiempos de entrega más corto (Gupta 2013).

Las herramientas de diseño virtual, como el modelado 3D y la simulación, se están volviendo cada vez más sofisticadas e integradas (Wu et al., 1997). Comprobar el diseño del accesorio es una tarea complicada que requiere un fondo profesional fuerte y una experiencia práctica (Jiang et al, 2013).

Un dispositivo de mecanizado mantiene los componentes en una posición única rígida para operaciones de mecanizado, de manera que puede producirse un lote de componentes que satisfagan los requisitos de calidad. El diseño de la mecanización ha sido objeto de considerables esfuerzos de investigación; sin embargo, la mayoría de las actividades de investigación han abordado una o una pequeña cantidad de interacciones entre la fijación y otros elementos del sistema de fabricación. (Wang et al., 2008).

La aplicación primaria de estos sistemas de diseño se encuentra en el mundo de la fabricación, que tiene el problema universalmente encontrado de sostener la pieza de trabajo para mecanizado, conformado, montaje e inspección (Wilson y Holt, 1962).

Para Zhu y Wang (2007) estas herramientas son muy útiles para controlar la calidad final o la semi-terminada de los productos sobre los procedimientos de los procesos y establecer estándares de calidad de los productos, los métodos de diseño tradicionales no pueden satisfacer las demandas de complejidad y variedad en la producción práctica. El diseño asistido por computadora (CAFD) es una solución eficaz en estas situaciones.

Una práctica común que se utiliza hoy en día en familias de productos de una línea es explicada por Holl et al. (2011), donde menciona que el meta-modelado se maneja con frecuencia para adaptar las herramientas de modelado a diferentes líneas de productos. Los diseñadores de estos utillajes también deben tratar con aparatos híbridos como extensiones de utensilio o configuraciones de las mismas. Proporcionar soporte de instrumentos para estos entornos es difícil, ya que las líneas de productos múltiples se componen de varias líneas de productos bastante interdependientes.

### **2.5.1. Los requisitos básicos de la instalación de mecanizado**

Para (Wang et al., 2008) existen requisitos básicos de la instalación de mecanizado, a la hora de adaptarlos al campo de estudio, a continuación, se explican cada uno de ellos:

- **Buena repetibilidad de carga**, de modo que se puede lograr la producción en masa de componentes.
- **Inmovilidad**: Los componentes se mantienen firmes de tal manera que no se mueven bajo las fuerzas de mecanizado.
- **Mínimo número de configuraciones**: La instalación aprovecha al máximo la capacidad de la máquina y está diseñada de tal manera que se requiere el menor número de configuraciones, mientras que el rendimiento de la instalación sigue siendo satisfactorio. La reducción del número de configuraciones puede reducir significativamente el tiempo de la máquina y la acumulación de errores.
- **Accesibilidad**: No se permite ninguna colisión entre la instalación, el componente, la máquina herramienta y la máquina.
- **Buen comportamiento dinámico**: No se permiten vibraciones ni vibraciones excesivas durante el mecanizado del componente sujeto por una fijación. Ninguna deformación excesiva del componente se produce durante la mecanización y el mecanizado.

### **2.5.2. Objetivo del diseño de herramental**

El diseño del producto implica la organización de los diversos procesos de fabricación para adaptarse a la secuencia requerida por el producto, los bajos costos unitarios para el volumen alto, el equipo especializado, la mejora de la eficiencia y la optimización del movimiento de los materiales (Prasad et al.,2016).

Dado que una serie de planes de elementos de fijación y set ups normalmente se puede utilizar para la fabricación de una pieza, la identificación de la configuración óptima y el plan de instalación es necesario. Los objetivos principales comúnmente reconocidos de la preparación y planes de utilización de dispositivos de sujeción son (Chen et al., 1998)

1. Minimizar el número de setups.
2. Minimizar el número de cambios de herramienta.
3. Minimizar el número de tolerancias críticas entre las características que pertenecen a setups diferentes.
4. Minimizar el número de dimensiones recalculadas cuando las superficies de referencia de diseño y las superficies de localización del accesorio son diferentes.

### **2.6. Tiempos estándares**

Cuando se cuenta con una distribución de procesos y herramental establecidos en la línea, Niebel et al. (2014) describen que uno de los pasos para el proceso sistemático para desarrollar un centro de trabajo eficiente, es el establecimiento de estándares. Estos pueden determinarse mediante el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición de trabajo. Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo, mientras que los que están mal establecidos, aunque es mejor tenerlos que no tener, conducen a costos altos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa. Esto puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio.

## 2.7. Yamazumi

Yamazumi significa en japonés “apilar”, y el gráfico consiste en un diagrama de columnas apiladas que representa la forma en que se reparte el tiempo o la capacidad de los medios productivos entre los distintos procesos o departamentos. El gráfico de Yamazumi permite identificar visualmente los procesos sobrecargados y los infrautilizados, es decir, permite ver aquellos procesos en los que se está invirtiendo un tiempo superior al Takt Time y así saber dónde conviene actuar para poder seguir el ritmo de demanda del cliente (Marchwinski et al., 2014).

En la figura 2.10 se muestra un ejemplo de gráfico de Yamazumi que según (Marchwinski et al., 2014) mencionan que debe tener los tres tipos de operaciones de operación: De valor agregado, de valor no agregado pero necesario y las de valor no agregado innecesario.

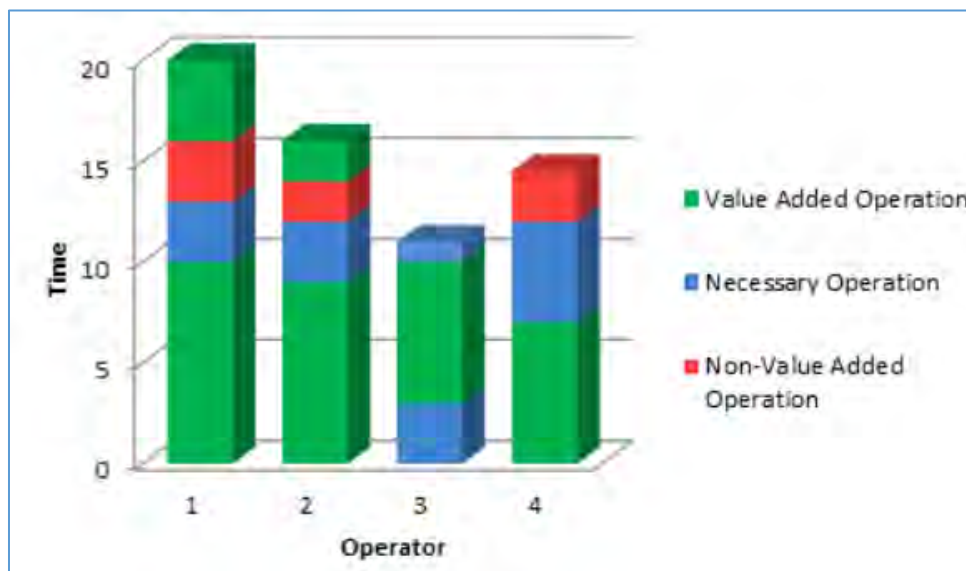


Figura 2. 10 Ejemplo de gráfico de Yamazumi (Marchwinski et al., 2014).



## 2.8. Índice CPK

Para Montgomery (2004), el indicador de la capacidad real del proceso, es considerado una versión corregida del Cp que sí toma en cuenta el centrado del proceso. Se calcula de la siguiente manera:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad (1)$$

Dónde:

$\mu$  es igual a la media

EI es igual al límite inferior

ES corresponde al límite superior

$\sigma$  es igual a la desviación estándar

## 2.9. Casos de estudio

Entre los estudios de aplicación de rediseños, se encuentra el trabajo que abordaron Alfieri y Nicosia (2007), donde se logró minimizar el costo de una línea de flujo reduciéndolo a un camino más corto, esto en una empresa anónima dedicada a la producción de obleas por medio de un principio básico de la metodología de estructura de componentes fuertes: Grafo dirigido. También las operaciones asociadas a algunos de los modelos de las máquinas se realizaron en un solo tipo de máquina y no en tres como se había previsto antes del análisis. Esto se tomó fácilmente en cuenta al crear la instancia de ruta más corta asociada al problema, añadiendo arcos adicionales (con los diferentes caracteres asociados a ellos). Concluyendo que la solución encontrada no estuvo demasiado lejos de la solución óptima.

Otro ejemplo de estudio basado en la metodología SLP, desarrollado por Salazar et al (2010) se basa en una empresa manufacturera ubicada en Santiago de Cali, Colombia, que se dedica desde hace más de treinta años a la producción de muebles metálicos. Dentro de esta, se conformaron familias de productos a partir de las similitudes existentes en su proceso de fabricación. El problema ocurrió cuando a la mala planificación de su

proceso de expansión, se han conformado grupos de máquinas sin tener en cuenta criterios para una adecuada distribución en planta, lo cual a largo plazo ha traído serias consecuencias en el flujo de trabajo y las cargas de las máquinas (en algunos casos, con subutilización de ellas). Además, se presentan largos recorridos entre cada uno de los talleres, lo que aumenta la presencia de inventarios de producto en proceso, obstaculizando y generando caos en el normal funcionamiento del proceso productivo.

Después de la aplicación de la metodología, se presentó una mejoría notable respecto a la situación actual de la empresa objeto de estudio, puesto que las propuestas aumentan los niveles de productividad al mejorar la utilización de los recursos mano de obra, materiales y máquinas. La decisión final de implementar la propuesta de tiene grandes beneficios si se compara con la situación actual.

Se mejora la utilización de las máquinas en un 50 %, no es la estrategia óptima para el flujo intercelular bajo el criterio de interferencias, sin embargo, para el grupo decisorio es importante que la distancia recorrida por las tres familias pase de 237 m recorridos actualmente a 163,7 m con la propuesta del modelo SLP. Así mismo, se espera una disminución para los tiempos de ciclo por producto y se plantea una mejor utilización de la mano de obra considerando que bajo la propuesta de estudio no es necesario despedir trabajadores ni subcontratar para periodos previstos de altas demandas.

Li, Qin y Cao (2012) diseñaron la disposición de instalaciones de un taller de producción utilizando el método de planificación sistemática de diseño (SLP), a fin de lograr el propósito de acortar la trayectoria logística, ampliar el área de trabajo, manipular los materiales sin problemas, y mejorar la eficiencia de la producción.

Xu et al., (2013) utilizaron el método SLP para mejorar la distribución de las instalaciones en un taller de vehículos y de esta forma reducir los costos logísticos.

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología de este proyecto cumple con las características que Hernández et al. (2014) publican en su libro a una investigación de carácter experimental cuantitativa, ya que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados y el efecto que se tiene en ellos.

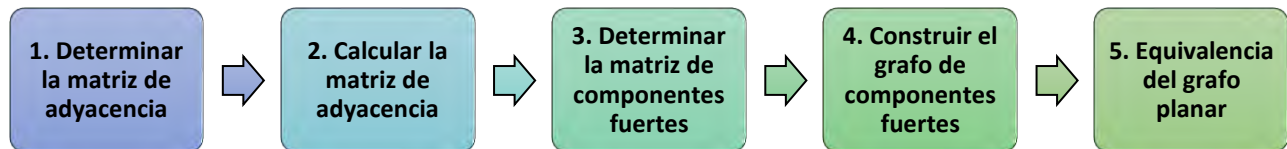
En un inicio esta investigación comenzará con un alcance de tipo descriptivo, por la necesidad de búsqueda de aquellas propiedades y características importantes de dicha exploración. Con este enfoque se considera importante conocer la situación actual de la distribución de la planta, incluyendo las limitantes que presente, para lograr la mejor propuesta de distribución de instalación; con ellos se reducen las distancias, movimientos innecesarios o bien, espacios sin utilizar que puedan servir para la instalación en algún momento posterior.

Finalmente, la metodología tomará un giro con enfoque explicativo, donde estará dirigido a responder por las causas de los eventos, mostrando los resultados de la investigación, así como la documentación de este trabajo.

#### **3.1. Estructura metodológica**

La estructura metodológica está compuesta por dos métodos utilizados para el tipo de problema actual que se tiene dentro de la empresa: Método de estructura de componentes fuertes de Romero (2006) y Método Systematic Layout Planning (SLP) (Muther,1973). A continuación, se muestran los pasos de cada una de ellas y posteriormente, se explica a manera detallada la metodología general del presente trabajo.

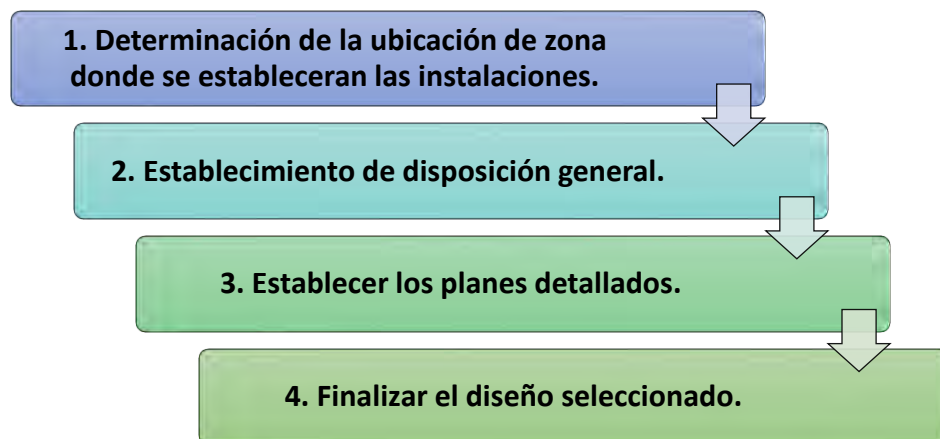
El método de estructura de componentes fuertes (2006) está compuesta por cinco pasos que se muestran en la figura 3.1; estos son relevantes para la distribución de familias a una misma línea de producción y cubrir en su totalidad los procesos:



*Figura 3.1. Estructura de método componentes fuertes (Elaboración propia,2017).*

1. Determinar la matriz de adyacencia.
2. Calcular la matriz de accesibilidad.
3. Determinar la matriz de componentes fuertes.
4. Construir el Grafo de Componentes fuertes.
5. Equivalencia de Grafo planar.

Por su parte, el método SLP está formado por 4 pasos generales, los cuales se muestran en la figura 3.2. El objetivo principal de este método es el rediseño de la distribución de la planta por medio de establecimientos detallados:



*Figura 3.2. Estructura de método SLP (Elaboración propia,2017).*

1. Análisis de la ubicación de la zona donde se establecerán las instalaciones
2. Establecimiento de la disposición general
3. Establecer planes detallados de distribución.
4. Finalizar el diseño seleccionado/

A partir de los dos métodos anteriores, se toma en cuenta la creación de una nueva metodología compuesta por cuatro fases; donde se propone, para el caso actual de estudio, lograr la mejor distribución de planeación en las instalaciones de una celda de manufactura, la cual es expresada en la figura 3.3:

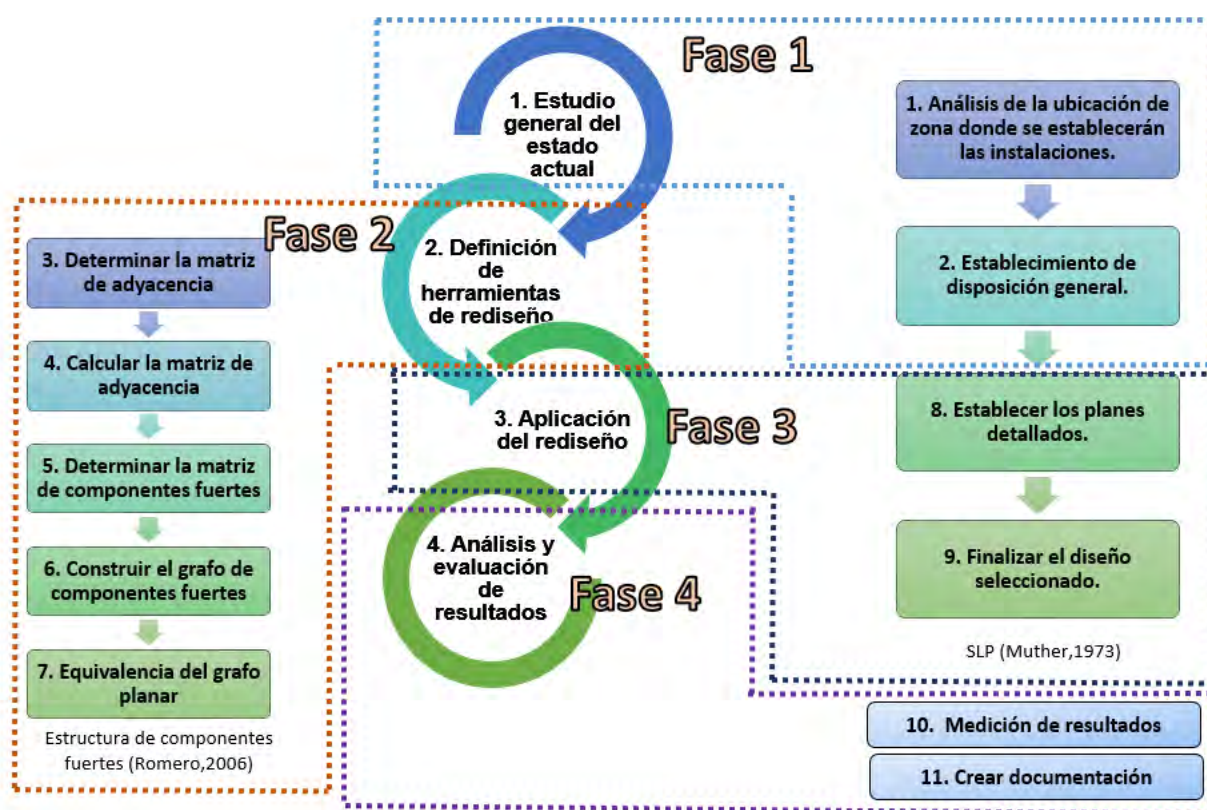


Figura 3.3. Estructura de nueva metodología para rediseño (Elaboración propia,2017).

### 3.1.1.Fase 1: Estudio general del estado actual

A continuación, se muestra detalladamente la composición de cada uno de los pasos, donde se incluye el objetivo, el procedimiento y resultado:

#### ❖ *Paso I: Análisis de la ubicación de la zona donde se establecerán las instalaciones*

**Objetivo:** Identificar de manera detallada las operaciones realizadas por los operarios en las distintas estaciones de trabajo de la familia de sopletes, por medio de visitas a la empresa.

**Procedimiento:** En esta parte de la fase 1, se indagará hacia los datos que muestren la secuencia de cada familia de productos que se desea rediseñar en la misma celda de producción de la empresa.

**Resultado:** Obtener la secuencia de cada producto para obtener un panorama actual y el entendimiento del proceso para manufacturar sopletes de soldadura.

#### ❖ *Paso II: Establecimiento de la disposición general*

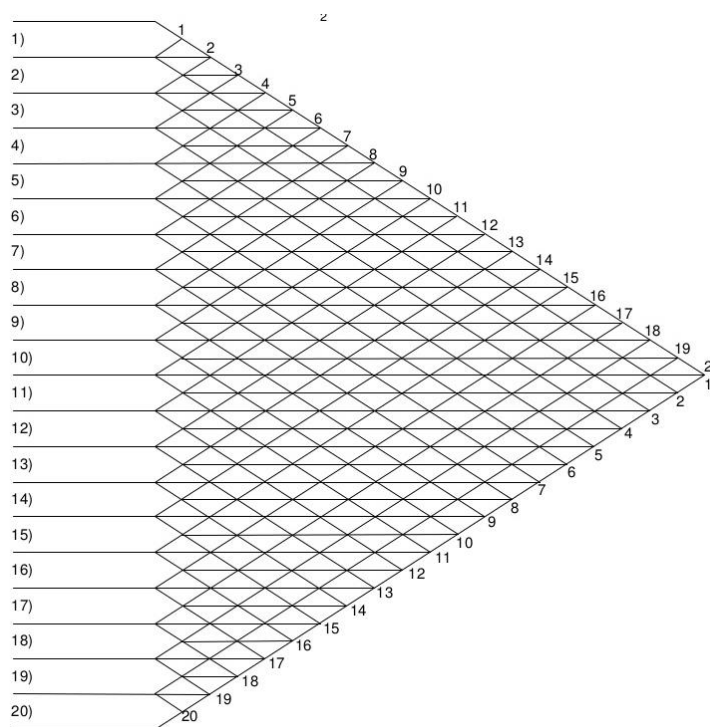
**Objetivo:** Construir la ponderación del layout a construir en base a las operaciones anteriores para aplicación de la metodología.

#### **Procedimiento:**

En este paso se requiere conocer el flujo de materiales, que incluye todos los movimientos de materia prima, producto en proceso y producto terminado. Para facilitar su análisis se emplea el diagrama de flujo de proceso, que especifica la ruta del material a lo largo del proceso y un diagrama desde-hasta. Posterior a eso, será necesario realizar las ponderaciones del método SLP para cada una de las estaciones de trabajo en base a la tabla 3.1 que se muestra debajo. Junto con la relación de la importancia de interrelación entre cada uno de estos departamentos en la tabla 3.2.

	Prioridad	Peso
<b>A</b>	Absolutamente Necesario	5
<b>E</b>	Especialmente Importante	4
<b>I</b>	Importante	3
<b>O</b>	Cercanía normal	2
<b>U</b>	No es importante	1
<b>X</b>	No conveniente	0

**Tabla 3.1. Valores de ponderación SLP.**



**Tabla 3.2. Tabla de interrelaciones entre cada estación.**

**Resultado:** Establecer la fuerza de las relaciones entre las distintas áreas se procede a crear un diagrama relacional de recorridos y actividades.

### 3.1.2.Fase 2: Definición de herramientas de rediseño

Esta fase está conformada por 5 pasos que se explican detalladamente a continuación:

❖ **Paso III: Determinar la matriz de adyacencia.**

**Objetivo:** Mostrar los enlaces existentes entre dos estaciones de trabajo o máquinas para cada producto establecido.

**Procedimiento:** Dentro de la fase 2, el primer paso a realizar es la realización de la matriz de volumen (con respecto a la demanda) que existe entre las estaciones, desde-a, en términos de desplazamiento del producto incluyendo todos los productos de las familias. Para eso, se utiliza la tabla 3.3 mostrada a continuación, la cual deberá ser una matriz cuadrada:

Desde/a	A	B	C	....	TOTAL
A					
B					
C					
...					
TOTAL					

*Tabla 3.3. Tabla de volumen desde-a, de adyacencia y de frecuencia de desplazamientos.*

Después de esta tabla, se debe obtener la matriz de adyacencia y la matriz de frecuencia de desplazamientos. Para la primera de ellas, es el movimiento que se hace desde el punto X al punto Y, sin acumulado, mientras que la segunda de ellas si utiliza el conteo de dicha frecuencia. Ambas utilizan el formato de la tabla 3.3.

**Resultado:** Total de enlaces e interrelaciones que se tienen en cada una de las estaciones con respecto a los productos.



#### ❖ Paso IV: Calcular la matriz de accesibilidad

**Objetivo:** Identificar de manera más fácil todos los nodos alcanzables dentro del proceso de secuencia de operaciones.

**Procedimiento:** Se comienza agregando la matriz de identidad a la matriz de adyacencia, eso es  $\mathbf{R1(0) = 1(0) + A(0)}$ , o por simplicidad  $\mathbf{R1 = I + A}$ . Esta nueva matriz, R1, representa todos los caminos posibles existentes de longitud uno entre dos instalaciones.

Se puede demostrar que cada potencia a la que se puede elevar la matriz de adyacencia tiene un significado específico. Por ejemplo, si la matriz de adyacencia se eleva a la segunda potencia, los valores obtenidos proporcionan todos los números de secuencias de longitud dos que existen en la estructura desde cualquier nodo hasta cualquier otro; y todas las entradas tienen un significado similar para cualquier otra potencia a la que se plantea la matriz. Una forma especial de matriz modificada de estas matrices de potencia son sus correspondientes matrices booleanas: es decir, para cada entrada mayor que cero en las matrices de potencia se coloca un valor de uno, y de lo contrario se coloca un cero. La notación de esta matriz de energía booleana es  $A \#^P$ , donde p es la potencia a la que se eleva la matriz. Por lo tanto, cualquier entrada en la matriz  $A \#^P$  indicará la existencia de una o más rutas de longitud p entre dos nodos considerados.

**Resultado:** Obtención de todos los posibles nodos de aquellas operaciones dedicadas y no dedicadas de la secuencia.

#### ❖ Paso V: Determinar la matriz de componentes fuertes.

**Objetivo:** Obtener las estaciones con mayor peso en el proceso, derivados de la matriz de componentes fuertes que marcarán parte de la secuencia final.

**Procedimiento:** Para obtenerlos es necesario calcular la transposición de la matriz de adaptabilidad  $R'(D)$ , después se deberá realizar una operación AND Booleana, componente a componente. Si una entrada en la Matriz de Accesibilidad implica que la

instalación  $j$  es alcanzable desde la instalación  $i$ , y su transposición implica que la instalación  $i$  es accesible desde la instalación  $j$ , entonces esto sugiere que estas instalaciones son componentes fuertes ya que son mutuamente alcanzables.

**Resultado:** Identificación fácil de los componentes fuertes, ya que estos tienen las mismas entradas en sus respectivas filas. Las otras entradas diagonales pertenecen a las relaciones entre los mismos componentes y pueden ser ignoradas.

❖ **Paso VI: Construir el Grafo de Componentes fuertes.**

**Objetivo:** Obtener la secuencia más recomendable en base a grafos y nodos representados por el sistema.

**Procedimiento:** Este paso está dividido en 6 pasos más, explicados a continuación:

Paso a) Localizar los componentes fuertes, luego clasificar sus arcos relacionados usando la frecuencia de desplazamientos. Después, construir sus sub-gráficos comenzando desde los valores de arco de frecuencia más altos a los más bajos. Adicionalmente, se deberá crear una lista de los arcos no utilizados clasificados para usarlos más adelante.

Paso b) Identificar nodos de los componentes no-fuertes y clasificar sus arcos usando el criterio secundario establecido, como en el paso anterior. Después de esto, construir sus sub-gráficos y agregar los arcos no utilizados a la lista anteriormente mencionada.

Paso c) En caso de identificar nodos restantes para considerar, se deberán clasificar de acuerdo con el criterio secundario de selección y construir sus sub-gráficos. Si quedan arcos adicionales que deberían considerarse, se deberán agregar a la lista de arcos no utilizados. Por lo general, estas son instalaciones aisladas o bien, productos que requieren una tarea específica.

Paso d) Usando los arcos disponibles de la lista de arcos no utilizados, enlace todo el sub-gráficos que incluyen instalaciones individuales, de caso contrario, hacer caso omiso a este paso.

Paso e) Revise todas las secuencias de operación del producto siguiendo el gráfico completado y agregar enlaces en caso de requerirse.

Paso f) Si son satisfactorios, entonces el proceso termina; de otra manera continuar y revisar el procedimiento desde el paso e.

**Resultado:** Representación gráfica de las interrelaciones del sistema para el secuenciado.

#### ❖ Paso VII: Equivalencia de Grafo planar

**Objetivo:** Obtener una lectura fácil de la distribución planar que se tendrá en el proceso de estudio.

**Procedimiento:** Si se agregan dos aristas al gráfico, las punteadas, el gráfico plano se convertirá un gráfico máximo planar. Además, la línea en negrita representa el arco bidireccional o los bordes unidos por 3, las líneas normales representan los arcos unidireccionales o los bordes unidos por 2, y las líneas discontinuas pueden ser arcos no dirigidos o bordes de 1 unión requeridos por la planicidad del gráfico.

**Resultado:** Forma útil de reducir la complejidad visual cuando se deben dibujar muchos arcos en un gráfico de adyacencia.

### 3.1.3.Fase 3: Aplicación del rediseño

La fase 3 está compuesta por 2 pasos que se explican a continuación:

#### ❖ Paso VIII: Establecer planes detallados de distribución.

**Objetivo:** Establecer el layout ideal para la distribución del área que se encuentra en estudio de los procesos, como los elementos de fijación diseñados para los nuevos productos.

**Procedimiento:** Establecer el espacio para cada estación de trabajo, para posteriormente realizar el diagrama de áreas en base a la ubicación de cada departamento, resultado del diagrama de grafo planar.

**Resultado:** Distribución de instalaciones en escala real de cada departamento con la opción más recomendable por parte de la metodología y diseño de fijadores de la nueva familia.

#### ❖ Paso IX: Finalizar el diseño seleccionado

**Objetivo:** Plantear la propuesta de solución para cada oportunidad de mejora identificada y desarrollarla para su implementación.

**Procedimiento:** Revisar el análisis de información y el planteamiento de la metodología y en caso de existir discrepancias volver a realizar el ejercicio. La propuesta de diseño será implementada en el capítulo 4.

**Resultado:** Diseño final de trabajo para la implementación y posible evaluación de resultados.



**Indicador de CPKs:** Utilización de fórmula que se muestra en figura 3.4, reforzada en la fase 2, para determinar si es aceptable o no los elementos de fijación agregados en el proceso como parte de la mejora.

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad (1)$$

dónde:

$\mu$  es igual a la media

EI es igual al límite inferior

ES corresponde al límite superior

$\sigma$  es igual a la desviación estándar

**Resultado:** Análisis de resultados obtenidos durante el estudio de su evaluación, conclusión de rechazo o aceptación de hipótesis.

#### ❖ Paso XI: Creación de documentación

**Objetivo:** Figurar el documento de la investigación, desde su inicio, desarrollo y medición de los resultados obtenidos para posibles procesos de mejora futuras.

**Procedimiento:** Plasmar cada uno de los eventos para dar seguimiento a las **acciones** implementadas en el proyecto con el fin de dar una mejora, o bien, como ajustes en alguna parte del análisis o implementación para lograr mejores resultados de más satisfactorios.

**Resultado:** Documento completo sobre el procedimiento y análisis de información durante cada fase de la investigación.

## **4. IMPLEMENTACIÓN**

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, el estudio tendrá un enfoque en el área productivo de la empresa Victor Technologies; dentro de la familia Cutting Attachment (CA). Esta familia consta de un total de 7 números de parte.

### **4.1. Fase I: Estudio general del estado actual**

A continuación, se presentan los resultados de esta investigación siguiendo el procedimiento propuesto:

#### **4.1.1. Paso I: Análisis de la ubicación de la zona donde se establecerán las instalaciones**

El primer paso se basó en la realización de un diagnóstico que permitió conocer y comprender la situación de secuenciado para cada familia de productos, tanto de lanzamiento (distinguidos con un símbolo “+” al final del nombre del modelo) como los ya establecidos. En este se trata de enfocar en las actividades primarias de cada operación. En la tabla 4.1 se muestra dicha secuencia:

Operación	Modelos						
	CA2460	CA2460+	CA2470	CA2460+	CA2461+	CA2462+	CA2470+
1. Ensamble mixer19XX		X		X	X	X	X
2. Ensamble mixer 08XX	X		X				
3. Estampado body	X		X				
4. Ensamble body-mixer 19XX	X	X	X	X	X	X	X
5. Ensamble Cone end	X	X	X	X	X	X	X
6. Ensamble Cone end- body Assy	X	X	X	X	X	X	X
7. Ensamble head-body	X		X				
8. Ensamble head-body-cone end	X	X	X	X	X	X	X
9. Subensambles valvula	X	X	X	X	X	X	X
10. Subensamble stem	X		X				
11. Ensamble de plug	X	X	X	X	X	X	X
12. Pulido de pieza	X	X	X	X	X	X	X
13. Laqueado de pieza	X	X	X	X	X	X	X
14. Pulido de wheel	X	X	X	X	X	X	X
15. Laqueado de wheel	X	X	X	X	X	X	X
16. Ensamble de wheel - Cutting	X	X	X	X	X	X	X
17. Ensamble de Lever	X	X	X	X	X	X	X
18. Prueba de agua	X	X	X	X	X	X	X
19. Prueba de Flama	X	X	X	X	X	X	X
20. Ensamble de nut	X	X	X	X	X	X	X
21. Empaque	X	X	X	X	X	X	X

**Tabla 4.1. Tabla de secuenciado para modelos CA.**

Las figuras 4.1 y 4.2 se muestra de manera ilustrativa el BOM (Bill of Materials) de un tipo de la familia que actualmente ya se produce en la compañía. En él se tiene la relación que existe entre los ensambles considerados en cada operación de la tabla 4.1, donde nos ayuda a ver un panorama completo de como es el producto y los componentes internos que lo conforman, así como las pruebas funcionales que se deben realizar.



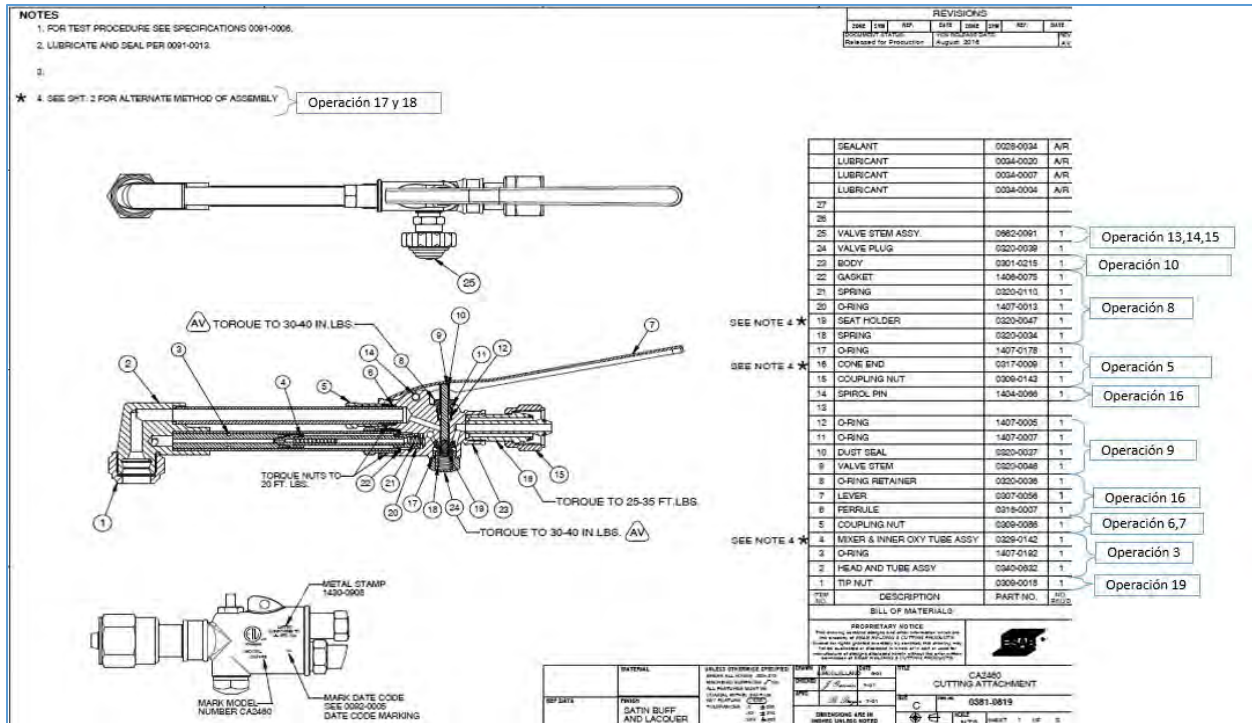


Figura 4.1. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia actual

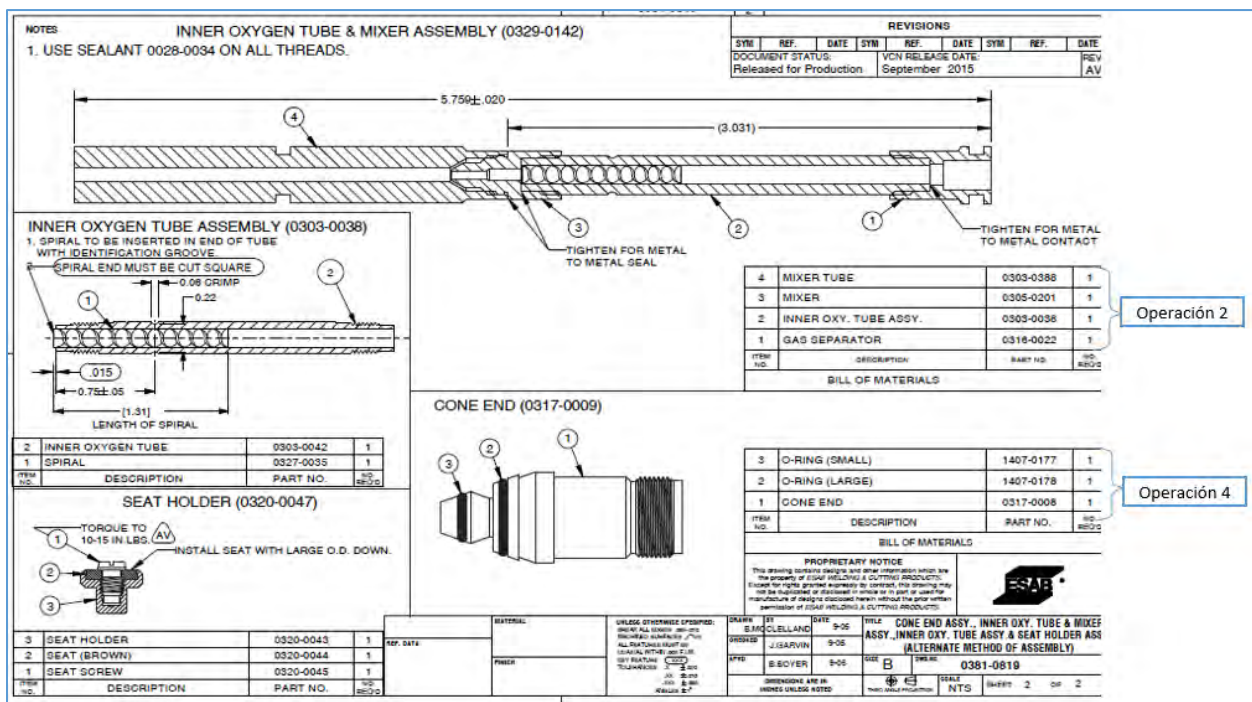


Figura 4.2. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia actual (Continuación)

Por otra parte, la figura 4.3 muestra el desglose de operaciones de la familia de lanzamiento, donde se reducen las operaciones y los componentes internos. Finalmente, estos diagramas ayudarán a comprender el plano del producto y la relación que se tiene con la secuencia de operaciones presentada en la tabla 4.1.

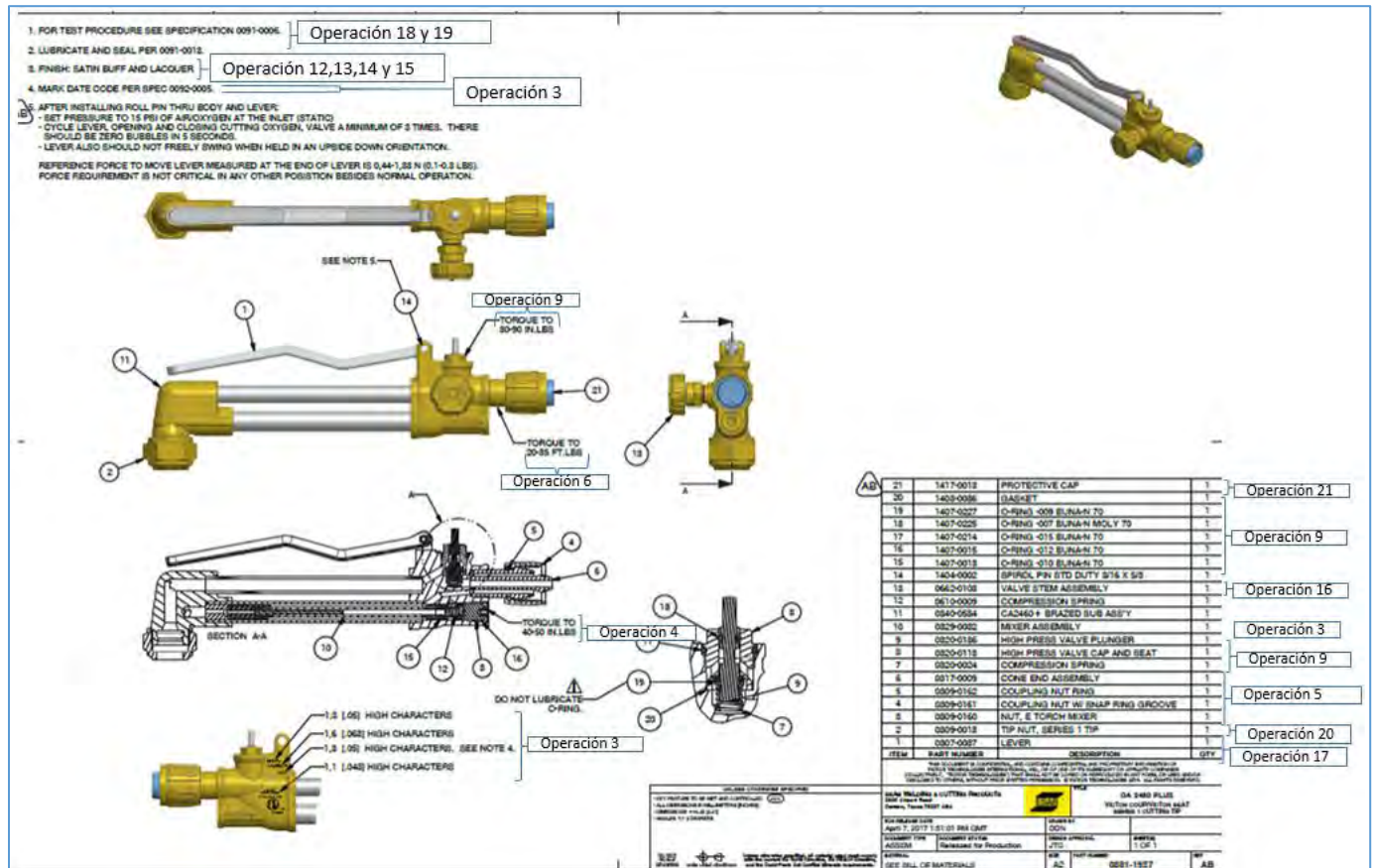
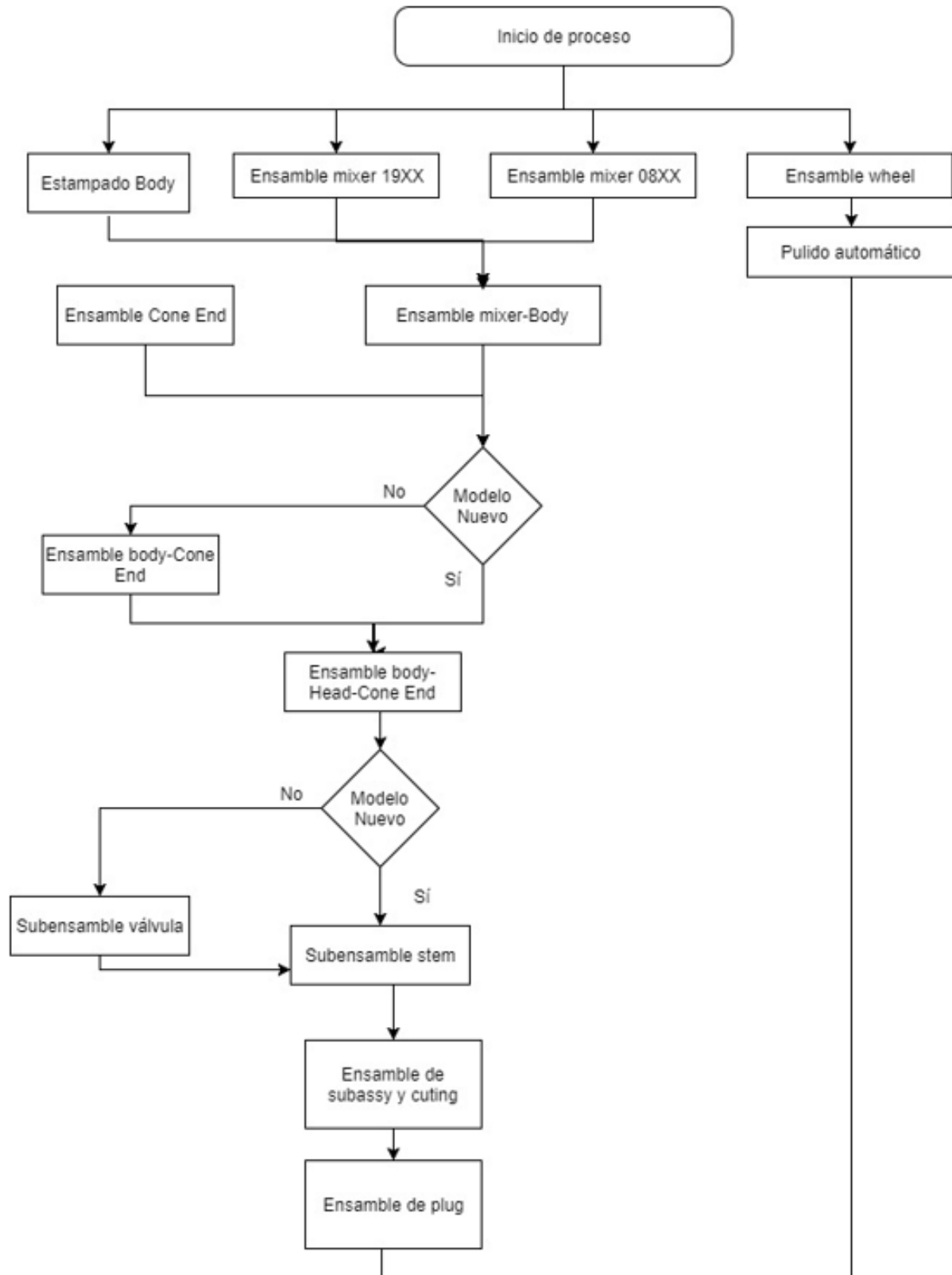


Figura 4.3. Desglose de operaciones en plano de ensamble de familia de lanzamiento

### 4.1.2. Paso II: Establecimiento de la disposición general

Parte del paso 2 de esta secuencia de metodología es necesario la aplicación del diagrama de flujo de proceso impactado en la secuencia de operaciones que se deberán tener como parte de los productos estudiados. La figura 4.4 es el resultado de la fusión de los planos y secuenciado de operaciones vistos en el paso II.



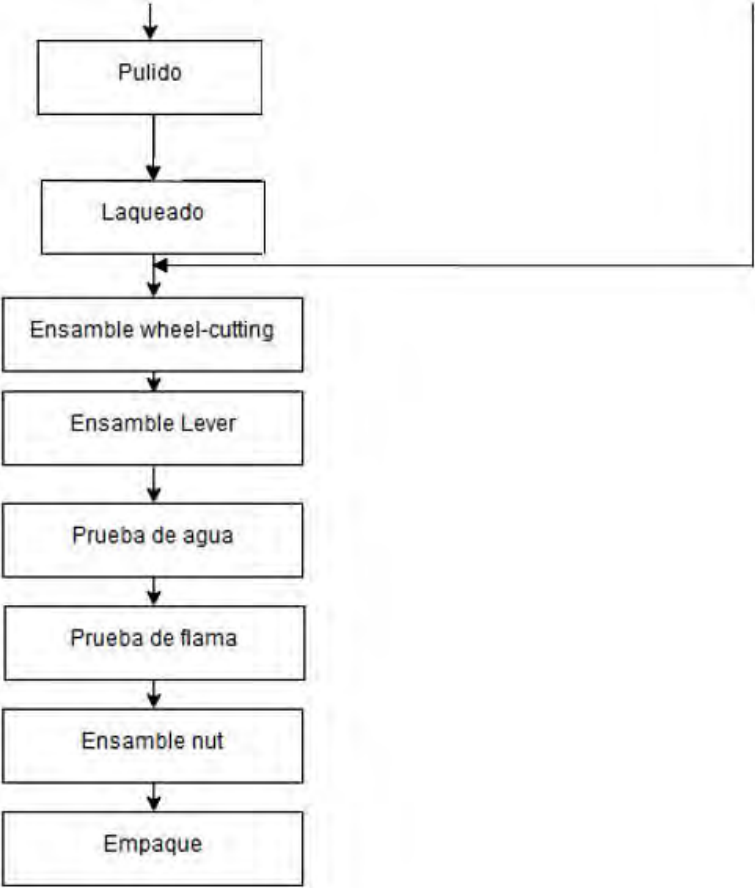


Figura 4.4. Diagrama de flujo del proceso CA

Una vez obtenido el diagrama de flujo, se realizó el diagrama desde-hasta de las distancias (en pies) obtenidas entre cada una de las líneas de operaciones el cual se muestra en la tabla 4.2.

Desde-Hasta (pies)	1. Ensamble mixer 19XX	2. Ensamble mixer 08XX	3. Estampado Body	3. Ensamble body-mixer 19XX	4. Ensamble cone-end	5. Ensamble cone end-body assy	6. Ensamble head-body	7. Ensamble head/body/cone end	8. Subensambles valvula	9. Subensamble stem	10. Ensamble Plug	11. Pulido Pieza	12. Laqueado pieza	13. Pulido wheel	14. Laqueado Wheel	15. Ensamble wheel-Cutting	16. Ensamble Lever	17. Prueba de agua	18. Prueba de flama	19. Ensamble nut	20. Empaque
<b>1 Ensamble mixer 19XX</b>		77.08	78.00	79.00	82.00	82.00	84.75	87.67	82.50	83.25	81.92	93.50	145.17	99.83	151.50	112.50	117.33	122.17	125.50	128.33	131.33
<b>2. Ensamble mixer 08XX</b>	77.00		25.42	2.83	5.67	5.67	7.67	10.58	5.42	6.17	4.83	53.42	105.08	69.92	121.58	176.75	181.58	186.42	189.75	192.58	230.58
<b>3. Estampado Body</b>	78.00	25.42		28.25	31.08	31.08	33.08	36.00	30.83	31.58	30.25	31.25	660.33	36.58	51.67	176.75	4.83	4.83	198.00	199.02	234.00
<b>4. Ensamble body-mixer 19XX</b>	79.00	2.83	28.25		6.58	54.92	81.92	84.83	6.58	80.42	79.08	56.25	107.92	72.75	124.42	108.92	113.75	118.58	121.92	124.75	127.92
<b>5. Ensamble cone-end</b>	82.00	5.67	31.08	6.58		2.83	4.83	7.75	2.58	3.33	2.50	59.08	110.75	75.58	127.25	111.75	116.58	121.42	124.75	127.58	130.75
<b>6. Ensamble cone end-body assy</b>	82.00	5.67	31.08	6.58	2.83		2.00	0.00	2.83	5.67	2.83	59.08	110.75	75.58	127.25	111.75	116.58	121.42	124.75	127.58	130.75
<b>7. Ensamble head-body</b>	84.75	7.67	33.08	81.92	4.83	2.00		2.00	5.67	2.83	2.00	56.25	107.92	72.75	124.42	113.75	118.58	123.42	126.75	129.58	132.75
<b>8. Ensamble head/body/cone end</b>	87.67	10.58	36.00	84.83	7.75	0.00	2.00		5.67	2.83	2.83	59.08	110.75	75.58	127.25	116.67	121.50	126.33	129.67	132.50	135.67
<b>9. Subensambles valvula</b>	82.50	5.42	30.83	6.58	2.58	2.83	5.67	57.42		2.83	2.83	54.17	105.83	78.42	130.08	111.50	116.33	121.17	124.50	127.33	130.50
<b>10. Subensamble stem</b>	82.50	6.17	31.58	80.42	3.33	5.67	2.83	2.83	2.83		2.83	61.92	113.58	75.58	127.25	112.25	117.08	121.92	125.25	128.08	131.25
<b>11. Ensamble Plug</b>	81.92	4.83	30.25	79.08	2.50	2.83	2.00	2.83	2.83	2.83		56.25	107.92	72.75	124.42	110.92	115.75	120.58	123.92	126.75	129.92
<b>12. Pulido Pieza</b>	93.50	53.42	31.25	56.25	59.08	59.08	56.25	59.08	54.17	61.92	56.25		52.42	14.17	52.42	106.83	111.67	116.50	119.83	122.67	125.83
<b>13 Laqueado pieza</b>	145.17	105.08	92.00	107.92	110.75	110.75	107.92	110.75	105.83	113.58	107.92	52.42		52.92	0.00	82.08	86.92	91.75	95.08	97.92	101.08
<b>14. Pulido wheel</b>	99.83	69.92	34.08	72.75	75.58	75.58	72.75	75.58	78.42	75.58	72.75	14.17	52.92		52.92	214.25	219.08	223.92	227.25	230.08	233.25
<b>15. Laqueado Wheel</b>	151.50	121.58	144.17	124.42	127.25	127.25	124.42	127.25	130.08	127.25	124.42	52.42	0.00	52.92		82.08	86.92	91.75	95.08	97.92	101.08
<b>16. Ensamble wheel-Cutting</b>	183.17	106.08	128.67	108.92	111.75	111.75	113.75	116.67	111.50	112.25	110.92	106.83	82.08	214.25	82.08		4.00	8.83	12.17	15.00	18.17
<b>17. Ensamble Lever</b>	188.00	110.92	133.50	113.75	116.58	116.58	118.58	121.50	116.33	117.08	115.75	111.67	86.92	219.08	86.92	5.67		4.83	8.17	11.00	14.17
<b>18. Prueba de agua</b>	192.33	115.25	137.83	118.08	120.92	120.92	122.92	125.83	120.67	121.42	120.08	116.00	91.25	223.42	91.25	9.17	4.33		3.33	6.17	9.33
<b>19. Prueba de flama</b>	19.36	118.58	141.17	121.42	124.25	124.25	126.25	129.17	124.00	124.75	123.42	119.33	94.58	226.75	94.58	12.17	7.67	3.33		2.83	6.00
<b>20. Ensamble nut</b>	4.45	121.42	144.00	124.25	127.08	127.08	129.08	132.00	126.83	127.58	126.25	122.17	97.42	229.58	97.42	15.00	10.50	5.33			3.17
<b>21. Empaque</b>	3.54	124.58	148.00	127.42	130.25	130.25	132.25	135.17	130.00	130.75	129.42	125.33	100.58	232.75	100.58	18.00	13.67	8.33	6.00	3.00	

Tabla 4.2. Tabla desde-hasta del proceso y su secuencia en pies.

Una vez obtenido la tabla desde-hasta, se realizó el diagrama de relación de actividades de todas las operaciones; esto en consideración de la tabla 3.1 y la tabla 3.2 de la relación de la importancia de interrelación vistas en el capítulo 3. Se muestra el resultado de dicha relación de actividades en la figura 4.5.



Figura 4.5. Diagrama de relación de actividades (Elaboración Propia).



## 4.2. Fase 2: Definición de herramientas de rediseño

En esta fase se explica de manera detalladamente del paso 3 al paso 8 los resultados obtenidos durante la implementación:

### 4.2.1. Paso III: Determinar la matriz de adyacencia.

Tal como se revisó en el capítulo 3, antes de aplicar la matriz de adyacencia es necesario realizar la tabla de demanda y secuencia de operación de cada uno de los productos para determinar posterior a esto el aspecto de volumen que se deberá tener en cada una de ellas. En la tabla 4.3 se muestra por medio de letras las operaciones de los procesos y la demanda anual que se tiene estimada para cada uno de ellos. Para los números del 1 al 6 corresponden a cada uno de los modelos de los Cutting Attachment, mientras que para el número 7 aplica para un subensamble que es utilizado en todas las familias de antorchas, por lo que la secuencia 14 y 15 forman parte del proceso normal de este componente.

Producto	Secuencia de operación	Demanda anual estimada
1 (0381-0819)	1,3,4,5,7,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	4093
2 (0381-0822)	1,3,4,5,7,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	282
3 (0381-0820)	1,3,4,5,7,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	0
4 (0381-1927)	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	76572
5 (0381-1929)	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	494
6 (0381-1931)	2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	1564
7( 0661-0091)	14,15	83,0005

*Tabla 4.3. Tabla demanda-Secuencia de productos.*

Posteriormente, fue necesario realizar la matriz de volumen desde-hasta que forman parte de las operaciones, en relación a una matriz de volúmenes entre operaciones (número de unidades por año) 21x21, expuesta en la tabla 4.4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	TOTAL	
1			78.630																			78.630	
2			4.375																			4.375	
3				83.005																		83.005	
4					83.005																	83.005	
5						78.630	4.375															83.005	
6								83.005														83.005	
7						4.375																4.375	
8									83.005													83.005	
9										83.005												83.005	
10											83.005											83.005	
11												83.005										83.005	
12													83.005									83.005	
13														83.005								83.005	
14															83.005							83.005	
15																83.005						83.005	
16																	83.005					83.005	
17																		83.005				83.005	
18																			83.005			83.005	
19																				83.005		83.005	
20																					83.005	83.005	
21																						83.005	
TOTAL	-	-	83.005	83.005	83.005	83.005	4.375	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	83.005	1.498.465

Tabla 4.4. Tabla volumen Desde-Hasta

En la tabla 4.5 podemos observar la matriz de adyacencia del proceso, es aquí donde se muestra cada operación en referencia con la anterior. Al final, se obtiene una matriz 21x21.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	TOTAL
1			1																			1
2			1																			1
3				1																		1
4					1																	1
5						1	1															2
6								1														1
7						1																1
8									1													1
9										1												1
10											1											1
11												1										1
12													1									1
13														1								1
14															1							1
15																1						1
16																	1					1
17																		1				1
18																			1			1
19																				1		1
20																					1	1
21																						-
TOTAL	-	-	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21

Tabla 4.5. Matriz de adyacencia de desplazamiento



Derivada de la matriz de adyacencia, podemos encontrarnos con la matriz de frecuencia de desplazamientos que tiene que ver con el acumulamiento de los 6 diferentes números de parte o modelos, a continuación, se muestra en la tabla 4.6. Es importante recordar que el resultado de esta matriz puede ser utilizado para el momento de realizar el diagrama de instalación por medio de los grafos, que se verá más adelante en el paso 6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	TOTAL	
1			3																				3
2			3																				3
3				6																			6
4					6																		6
5						3	3																6
6								6															6
7						3																	3
8									6														6
9										6													6
10											6												6
11												6											6
12													6										6
13														6									6
14															6								6
15																6							6
16																	6						6
17																		6					6
18																			6				6
19																				6			6
20																					6		6
21																						6	-
TOTAL	-	-	6	6	6	6	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	111

Tabla 4.6. Matriz de frecuencia de desplazamientos

#### 4.2.2.Paso IV: Calcular la matriz de adaptabilidad.

Tal como se explica en el capítulo 3, el paso 4 lleva la relación de la siguiente fórmula para calcular la matriz de adaptabilidad:

$$R'(D) = I + A(D) \quad (2)$$

donde:

R'(D): Matriz de adaptabilidad

I: Matriz de Identidad

A(D): Matriz de adyacencia, resultado obtenido del paso 3.

Para comenzar los cálculos, en la tabla 4.7 se muestra la matriz de identidad que correspondería a las 21 operaciones del proceso.

IDENTIDAD																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	TOTAL
1	1																					1
2		1																				1
3			1																			1
4				1																		1
5					1																	1
6						1																1
7							1															1
8								1														1
9									1													1
10										1												1
11											1											1
12												1										1
13													1									1
14														1								1
15															1							1
16																1						1
17																	1					1
18																		1				1
19																			1			1
20																				1		1
21																					1	1
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21

**Tabla 4.7. Matriz de Identidad**

Para fines de practicidad, es posible realizar módulos dentro de la matriz de identidad y de adyacencia para evitar la información extraordinaria, ya que, en la revisión de la secuencia de operaciones de los seis productos, no se sufre alteración alguna, es siempre la misma; es decir, las operaciones 10,11,12 hasta el 21, quedarán englobadas en el módulo  $M(1)$ . Por lo que la tabla 4.8 muestra la matriz de identidad que se utilizará para la investigación actual y la tabla 4.9 con la versión corta de la matriz de adyacencia, producto del paso 3 de la metodología implementada.

IDENTIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										1
2		1									1
3			1								1
4				1							1
5					1						1
6						1					1
7							1				1
8								1			1
9									1		1
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10

Tabla 4.8. Matriz de Identidad con módulo (M1).

ADYACENCIA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1			1								1
2			1								1
3				1							1
4					1						1
5						1	1				2
6								1			1
7						1					1
8									1		1
9										1	1
M(1)											-
TOTAL	-	-	2	1	1	2	1	1	1	1	10

Tabla 4.9. Matriz de adyacencia con módulo (M1)

Tomando en cuenta la tabla 4.9, podemos realizar la sumatoria, donde el resultado de  $R'(D)$  queda expuesto en la tabla 4.10:

(R1) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1								2
3			1	1							2
4				1	1						2
5					1	1	1				3
6						1		1			2
7						1	1				2
8								1	1		2
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	2	2	3	2	2	2	2	20

Tabla 4.10. Matriz de adaptabilidad

En el siguiente paso, R1 se agrega a la segunda potencia de la matriz de adyacencia, eso es  $R2 = A^2 + R1$ . La tabla 4.11 muestra el resultado de la suma de matrices:

(R2) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1							3
3			1	1	1						3
4				1	1	1	1				4
5					1	1	1	1			4
6						1		1	1		3
7						1	1	1			3
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	3	4	3	4	3	3	28

Tabla 4.11. Matriz de adaptabilidad R2

Realizaremos la potencia de la matriz hasta que  $R(n-1)$  y  $Rn$  sean iguales. En el anexo 1 se puede ver los cálculos que se tuvieron que realizar para lograr a la matriz de adaptabilidad final, el cual correspondió a 8 potencias, generando el valor que se muestra en la tabla 4.12

(R8) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1		1	1	1	4
7						1	1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	9	47

Tabla 4.12. Matriz de adaptabilidad R8

#### 4.2.3. Paso V: Determinar la matriz de componentes fuertes.

Para determinar la matriz de componentes fuertes, es necesario calcular la transpuesta de R (8). La tabla 4.13 muestra el resultado de dicha matriz:

Transpuesta de (R8) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										1
2		1									1
3	1	1	1								3
4		1	1	1							3
5		1	1	1	1						4
6		1	1	1	1	1	1				6
7		1	1	1	1		1				5
8		1	1	1	1	1	1	1			7
9		1	1	1	1	1	1	1	1		8
M(1)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
TOTAL	2	9	8	7	6	4	5	3	2	1	47

Tabla 4.13. Matriz transpuesta de R8.

Para terminar de construir la matriz de componentes fuertes, es necesario realizar una operación AND Booleana con respecto a la matriz de adaptabilidad y la matriz transpuesta de la misma. En la tabla 4.14 se muestra el resultado de la matriz de componentes fuertes:

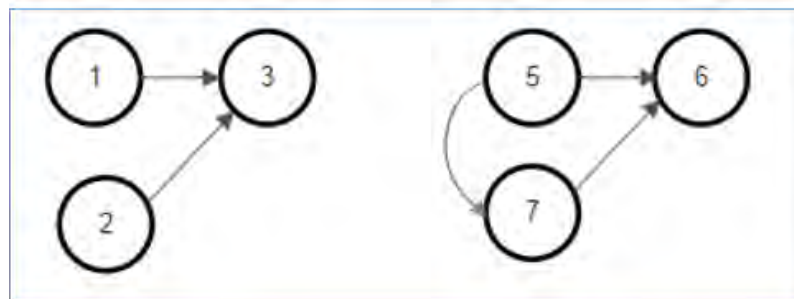
Matriz de componentes fuertes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										1
2		1									1
3			1								1
4				1							1
5					1						1
6						1					1
7							1				1
8								1			1
9									1		1
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10

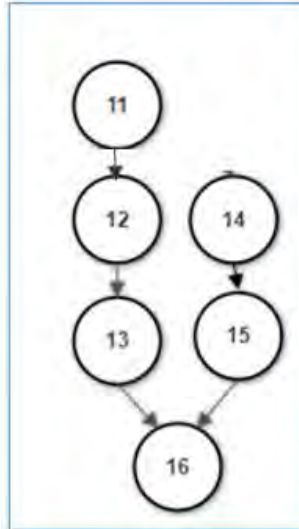
Tabla 4.14. Matriz de componentes fuertes.

#### 4.2.4. Paso VI: Construir el Grafo de Componentes fuertes.

a) La primera actividad es identificar los elementos de componentes fuertes y comenzar a construir su subgrafo, en este caso, no aplicaría tal restricción, ya que los elementos no se encuentran fuertemente enlazados.

b) Se procederá a identificar los nodos de componentes no fuertes del proceso, donde se clasificaron sus arcos usando el criterio de la frecuencia de desplazamientos (tabla 4.6). En la figura 4.6 se muestra el resultado de los nodos de componentes no fuertes del proceso.



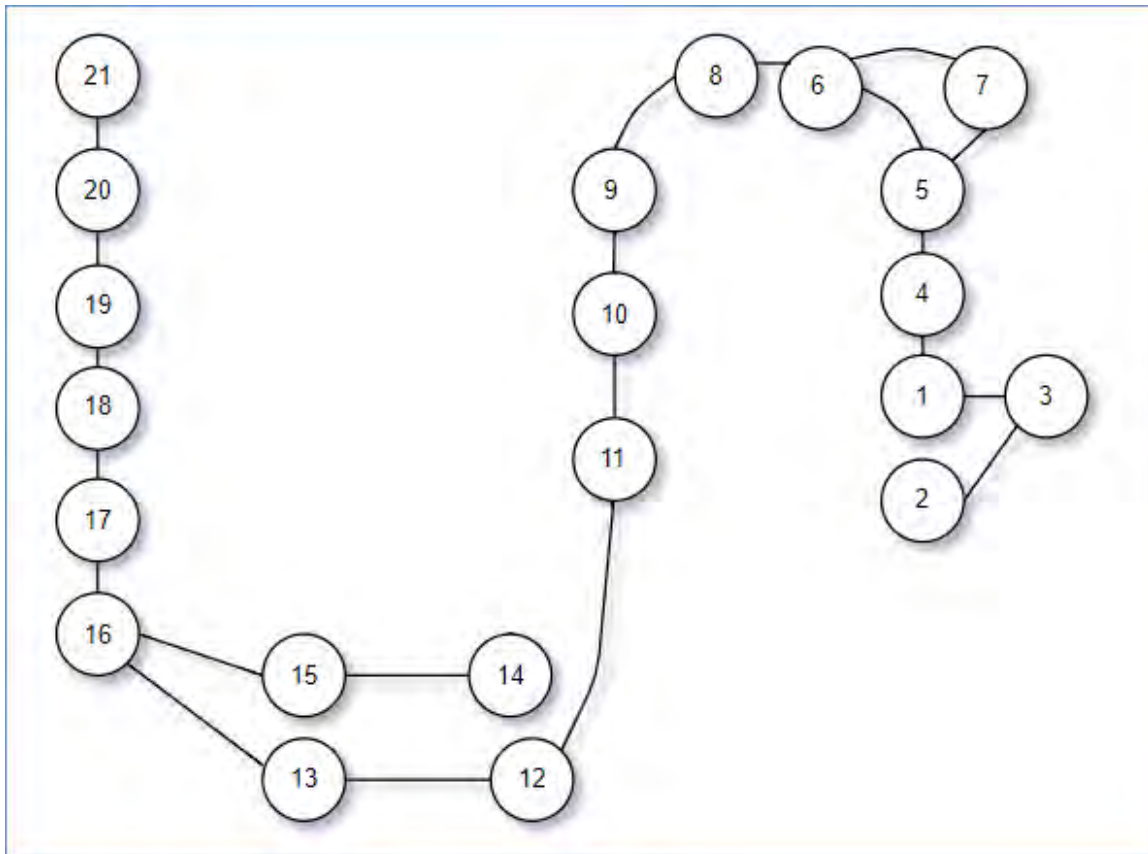


*Figura 4.6. Grafo y nodos de componentes no fuertes (Elaboración Propia)*

Como se puede apreciar, las operaciones 14 y 15 se anexan al proceso 16, que se trata del ensamble de Wheel. Esta facilidad surge al no ser componentes fuertes entre ellos y hace posible utilizar una distancia cerca a la celda donde se requerirá.

c) Existe el caso de encontrarse otros nodos que se encuentren vinculados de manera aislada o menos vista, para efectos de este proyecto dicha situación no fue presentada.

d y e) Para manejar de una manera más gráfica, se acomodaron los grafos por celdas de producción, ya que es esta forma la que utiliza la empresa. En la figura 4.7 se muestra el diseño de grafos final de la misma.



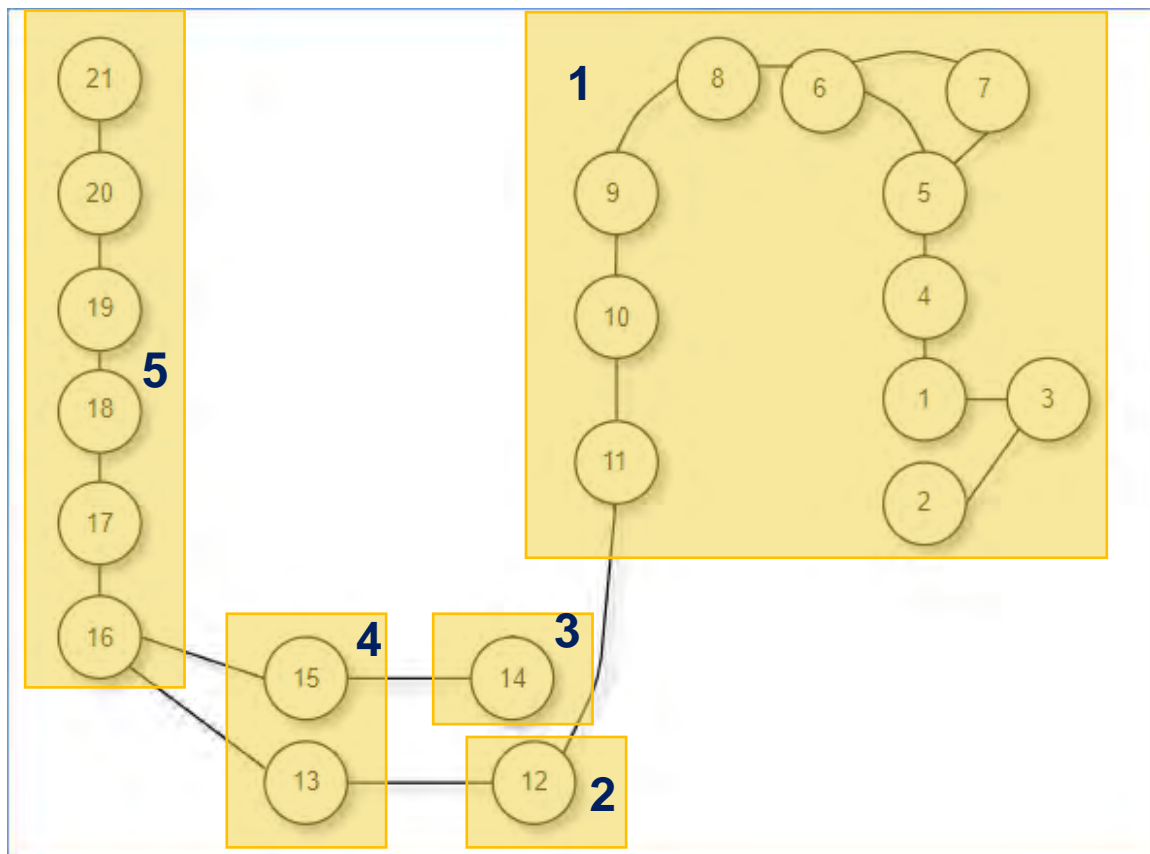
*Figura 4.7. Grafo y nodos de componentes fuertes final (Elaboración Propia)*

f) En este último paso, se reconsidera el diseño final del paso e. Para este proyecto, no fue necesario dicha condición.



#### 4.2.5. Paso VII: Equivalencia de Grafo planar.

Finalmente, se obtiene la equivalencia del grafo planar, que quedó de la misma forma que el grafo de nodos de componentes fuertes. Para simplificar la distribución, se decidió separar por secciones, ya que a la hora de aplicar el diseño del layout nos encontramos con algunas limitaciones de espacio. En la figura 4.9 se muestra el grafo planar con las 5 secciones y las operaciones de la secuencia del proceso.



*Figura 4.7. Grafo planar de distribución de la planta*

### 4.3. Fase 3: Aplicación del rediseño

Durante la fase 3, fueron 3 los pasos que se implementaron. A continuación, se explican cada uno de ellos:

#### 4.3.1. Paso VIII: Establecer planes detallados de distribución.

Una vez establecido la parte del diagrama planar y los grafos direccionados que se obtuvieron en la fase 2, se procede a la realizar el diseño de la distribución del espacio determinado en base al resultado anterior. En la figura 4.10 se muestra el resultado obtenido:

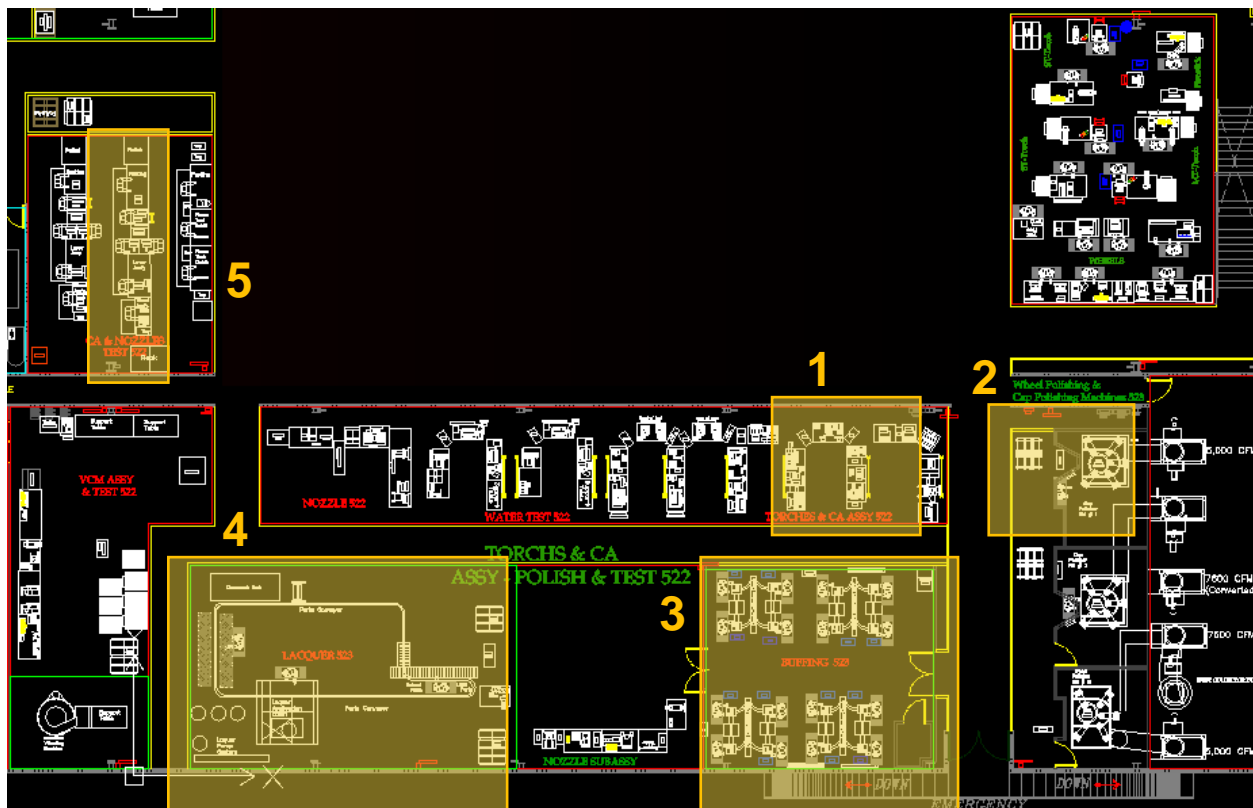


Figura 4.8. Layout propuesto general

Como se mencionó anteriormente la división de la distribución por secciones hara que se revise detalladamente que operaciones de la secuencia del proceso vistos en la figura 4.5 incluye en cada uno de ellos.



En la figura 4.12 se muestra la propuesta de ensamble de cutting attachment que corresponde a la sección 1 de la figura 4.10, en donde podemos ver que las operaciones están agrupadas por estaciones de trabajo, facilitando la facilidad del ensamble de las partes por el diseño en tipo celular. En este se tienen los pasos del 1 (Ensamble de mezclador 19XX) al 11 (Ensamble de tapón) y corresponden solamente al área de ensamble del producto.

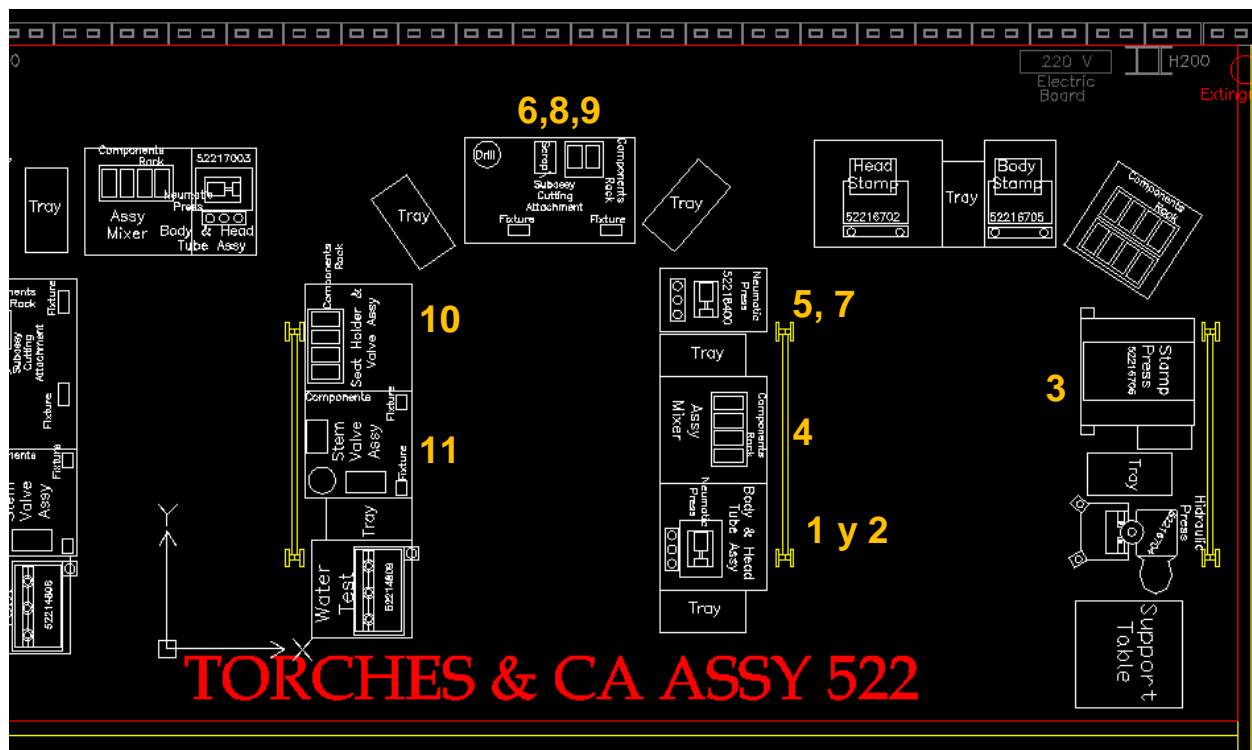


Figura 4.10. Desglose parte 1, área de ensamble.

El área de pulido de la pieza, se encuentra en la sección 2, donde se tienen varias máquinas y según vaya llegando el material estas se colocan en alguna de ellas, por lo que se tomó en cuenta como si al final solo se tuviera una. En esta sección, se lleva a cabo la operación 12 (Pulido de pieza) del desglose de la secuencia, la figura 4.13 muestra la distribución.

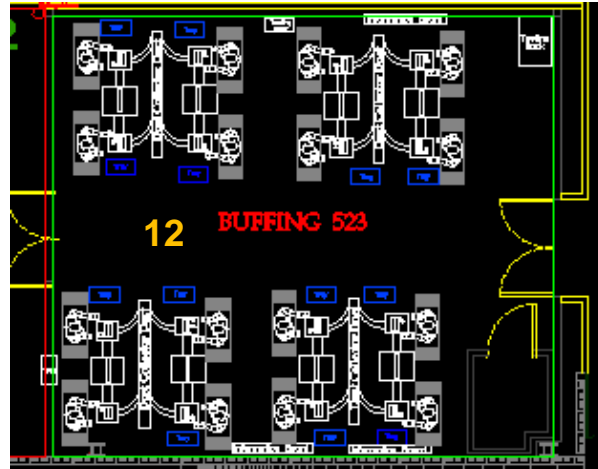


Figura 4.11. Desglose parte 2, área de pulido de pieza

La siguiente estación de trabajo corresponde a la sección 3, donde se realiza la operación de pulido de wheels, aquí el material entra de manera independiente a la línea. En la figura 4.14 se muestra el layout del mismo, correspondiendo a la actividad 14 de la secuencia del proceso.

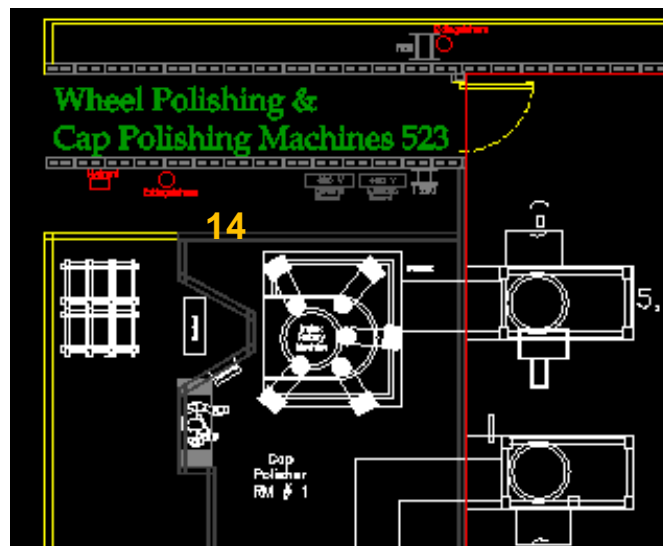


Figura 4.12. Desglose parte 3, área de pulido de wheel

En la sección 4, se tiene las operaciones 13 y 15, que forman parte del proceso de laqueado, en este, es una capa de pintura que es aplicada con una pistola neumatica a alta presión, y posterior a esto, pasan por un horno caliente a través de un carrucel para que la pintura selle. La figura 4.15 muestra el layout del proceso de laqueado.

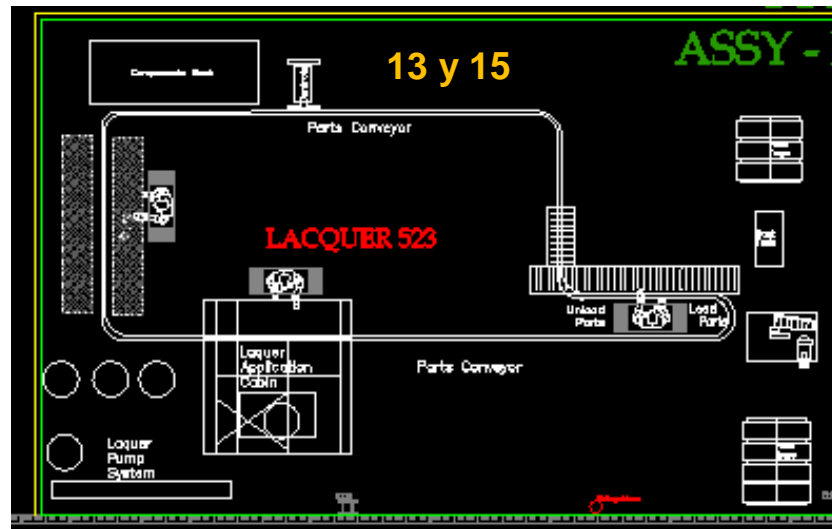


Figura 4.13. Desglose parte 4, área de laqueado de piezas

En la figura 4.16 se muestra el diagrama de distribución de la sección 5. Dicha sección está compuesta por varias estaciones de trabajo. Una línea en serie que forman del paso 16 al 21, es decir, el ensamble de wheel, de lever, seguido por la prueba de fuga, flama, ensamble del nut y finaliza con el empaque de la unidad

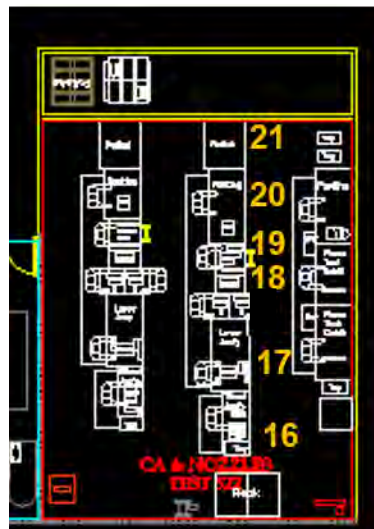


Figura 4.14. Desglose parte 5, área de pruebas y empaque

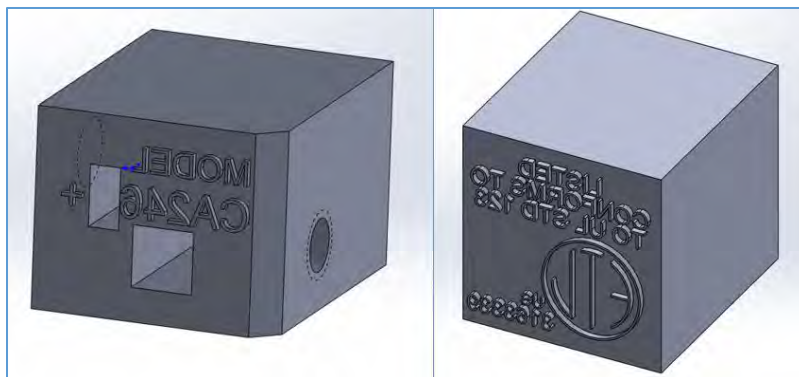
### 4.3.1.1 Diseño de elementos de fijación

Cómo parte de la fase 3, se explica dentro de la metodología que deberán incluirse en esta sección los diseños que se buscan implementar en cada estación de trabajo que sufra modificaciones para ensamblar el nuevo lanzamiento.

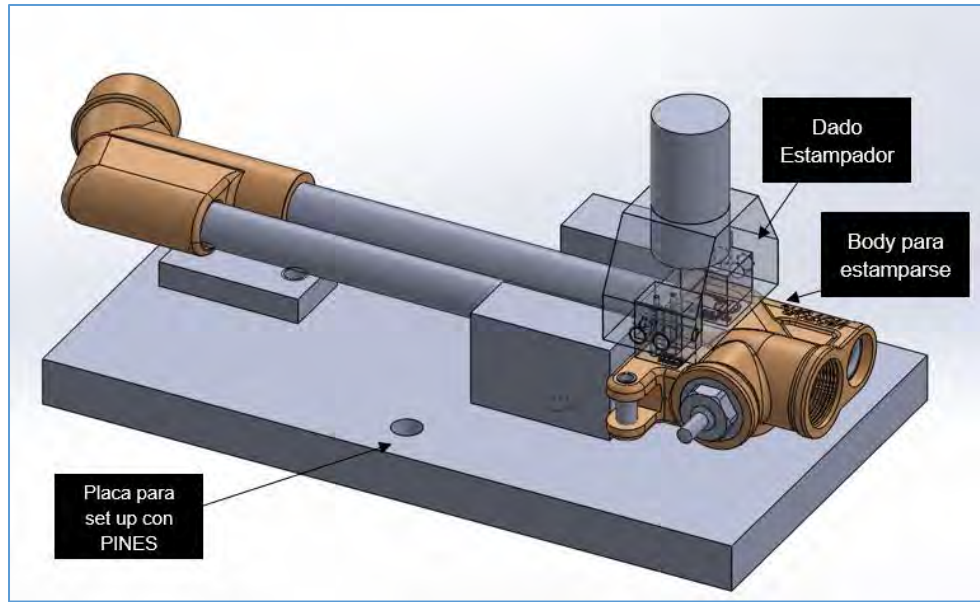
En total fueron 4 estaciones las que sufrieron modificación de elementos de fijación, estos cambios se explican a continuación:

#### ➤ Estación 3. Proceso de estampado:

Para el estampado del nuevo modelo, se diseñaron las estampas plasmadas en la imagen 4.17, que corresponden a la especificación del plano. La figura 4.18 muestra el diseño que se montará con pines en la máquina estampadora actual.



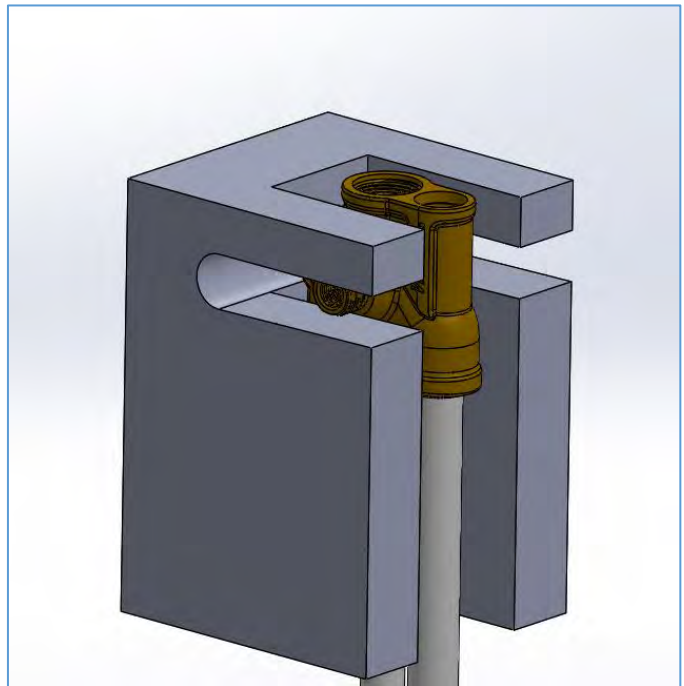
*Figura 4. 15 Estampadores para modelos Plus de Cutting Attachment.*



**Figura 4.16. Sujetador para estampado para modelos nuevos**

#### ➤ Estación 4. Ensamble cuerpo de antorcha y mezclador:

Para realizar el ensamble del cuerpo de antorcha con el mezclador en el producto de lanzamiento, fue necesario en la estación 4 agregar un elemento de fijación con un brazo neumático para facilitar esta operación al operador. En la figura 4.19 se muestra el resultado del mismo, con un diseño vertical para que el usuario tenga visión de los componentes que coloca y evitar componentes faltantes.

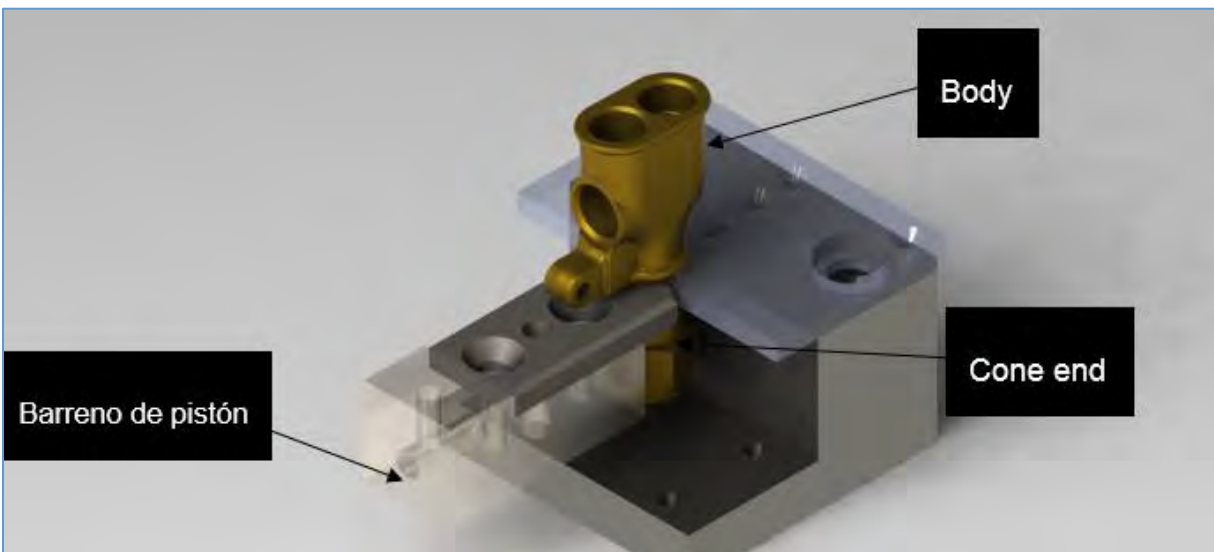


**Figura 4.17. Sujetador para colocación de mezclador.**



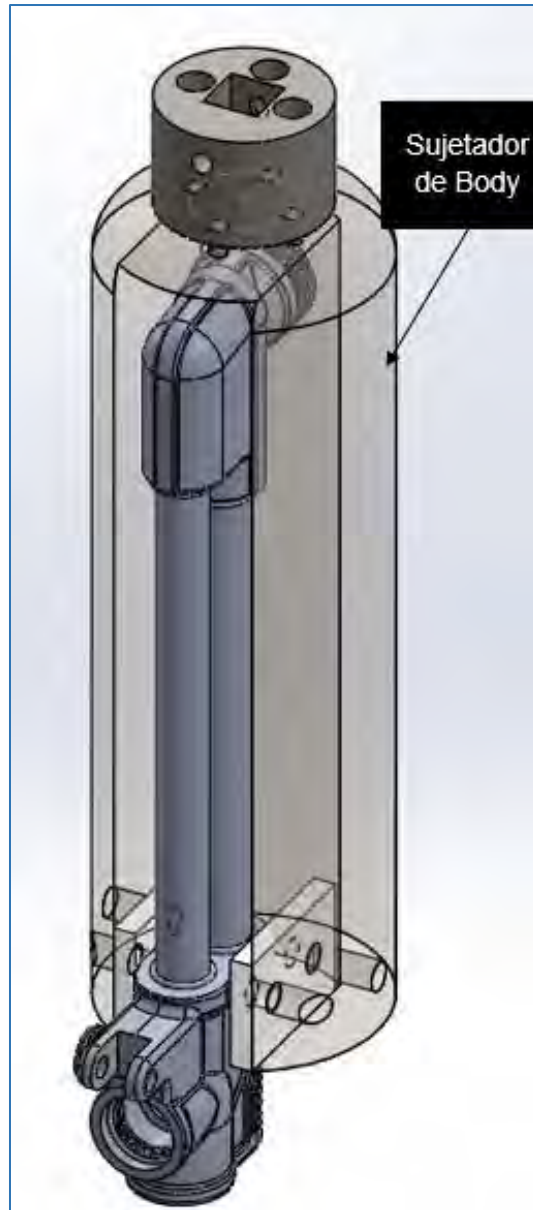
➤ **Estación 6. Ensamble cone-end y cuerpo antorcha-assy :**

Para la estación número 6 correspondiente al ensamble del cone end con cuerpo antorcha, se tiene la propuesta de diseño mostrada en la figura 4.20, donde estará montada sobre la mesa de trabajo y lo accionará un pistón neumático, este sujetador es para el modelo actual con la intención de utilizar una sola maquinaria para ambos números de parte.



*Figura 4.18. Diseño de Ensamble de sujeción Cone End-Cuerpo antorcha.*

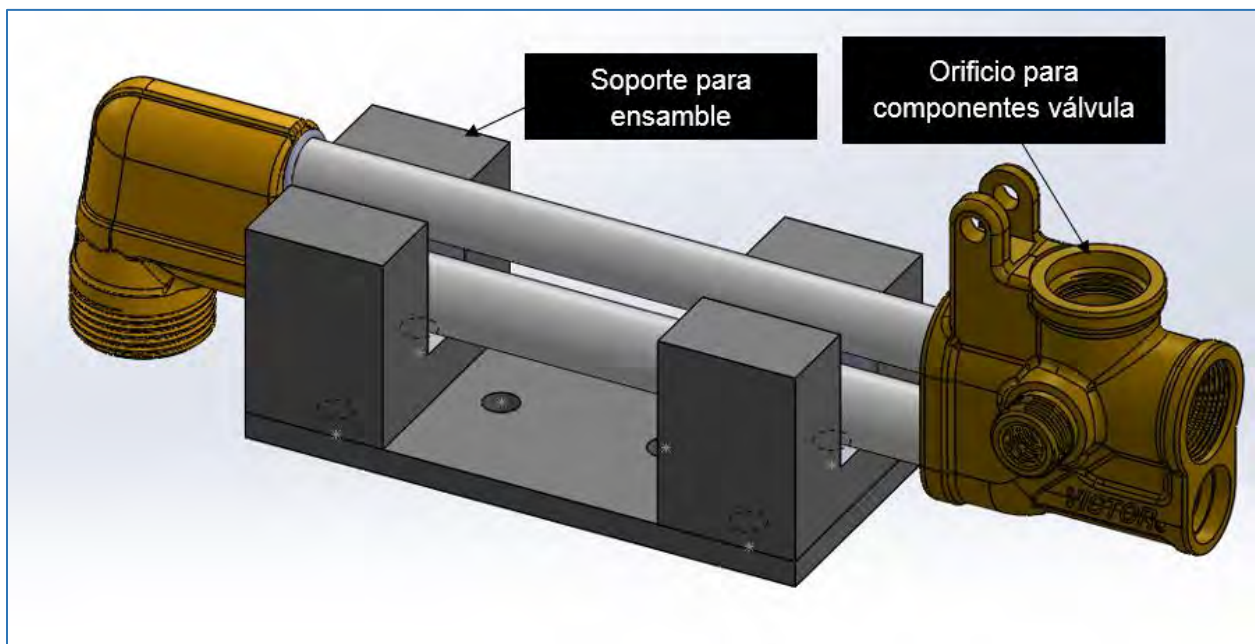
La figura 4.21 muestra el adaptador diseñado para ajustar el Cone End con el cuerpo antorcha utilizando la base mostrada en la figura 4.20; este con el fin de facilitar el tiempo de set up entre cada familia de modelos.



*Figura 4.19. Diseño de Ensamble de sujeción Cone End-Cuerpo antorcha.*

➤ **Estación 9. Subensambles válvula:**

Finalmente, otra de las mejoras para el ensamble de los componentes de válvula en los modelos de lanzamiento, fue la fabricación de un sujetador que realizara la función de soporte de la pieza previamente ensamblada. En la figura 4.22 se muestra el diseño de dicho sujetador, para luego ensamblar de manera cuidadosa y correcta los componentes de la válvula que van dentro del orificio y posteriormente aplicar un torque de 45 a 50 in/lbs.



*Figura 4.20. Diseño de Soporte para ensamble de válvula.*

### 4.3.2. Paso IX: Finalizar el diseño seleccionado

Finalmente, para establecer la propuesta de diseño seleccionado, se coordinó con mantenimiento el ajuste de presiones neumáticas y reguladores para los nuevos torques que se utilizarán en la línea, así como la entrega de planos al área de maquinado para la fabricación de los mismos. Por lo que el diseño del sistema de ensamble y prueba para el lanzamiento de nuevos productos queda plasmado como se muestra en la figura 4.23:

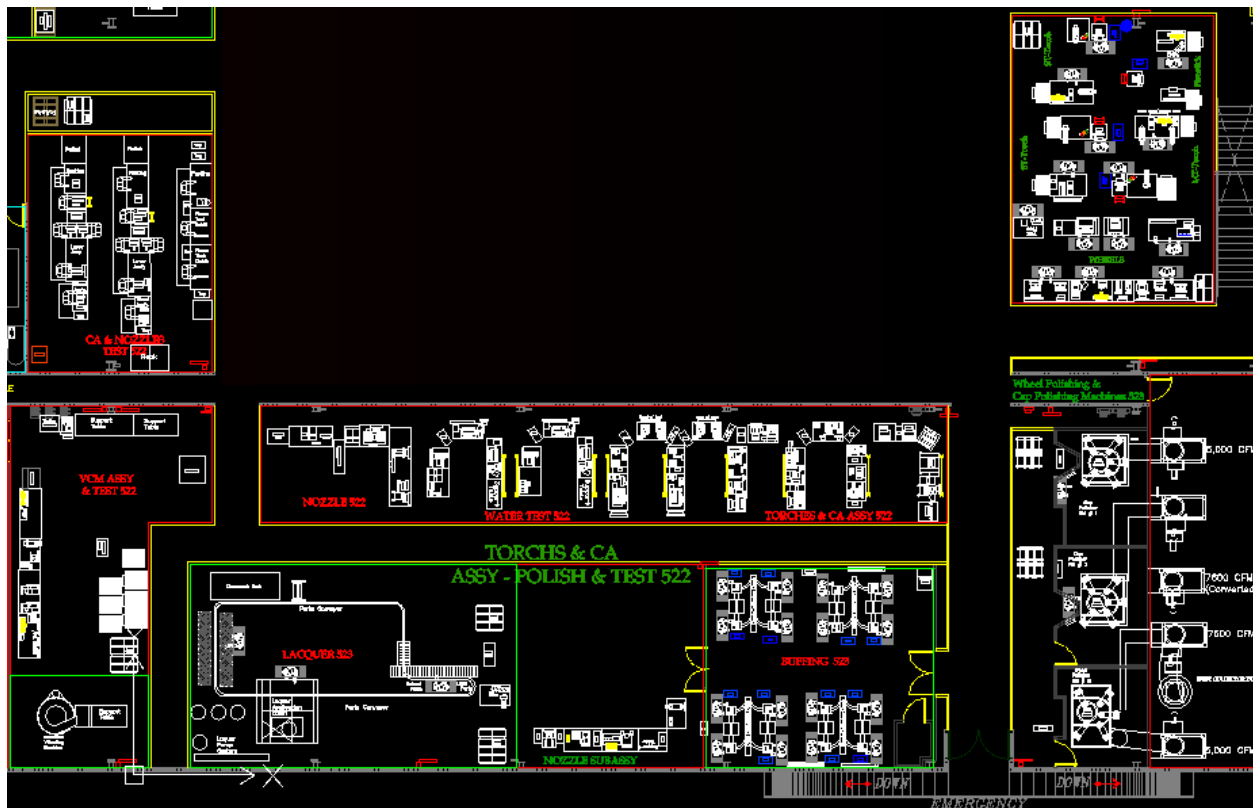


Figura 4.21. Diseño final propuesto

## 4.4. Fase 4: Análisis y evaluación de los resultados

Durante esta etapa, se busca implementar y evaluar los resultados de las alternativas aceptadas por los encargados del área, es decir, la alta gerencia. En donde se verán tres tipos de indicadores, explicados en el paso 10: De distribución, de tiempo de ciclo o tiempo estándar y repetibilidad del proceso (CPK).

### 4.4.1. Paso X: Medición de resultados

A continuación, se explican de manera detallada los resultados medidos con los tres distintos tipos de indicadores:

#### ➤ Indicador de distribución

En la figura 4.24 se muestra el layout antes de la implementación utilizando la metodología propuesta en el capítulo 3. Entre la mayor relevancia se encuentra la estación 1, donde comenzaba el proceso de ensamble del mezclador de oxígeno de la antorcha. Así como si enfocamos en la sección 2, que se encuentra en serie la línea. En la figura 4.25 se muestra una mejor toma del mismo.

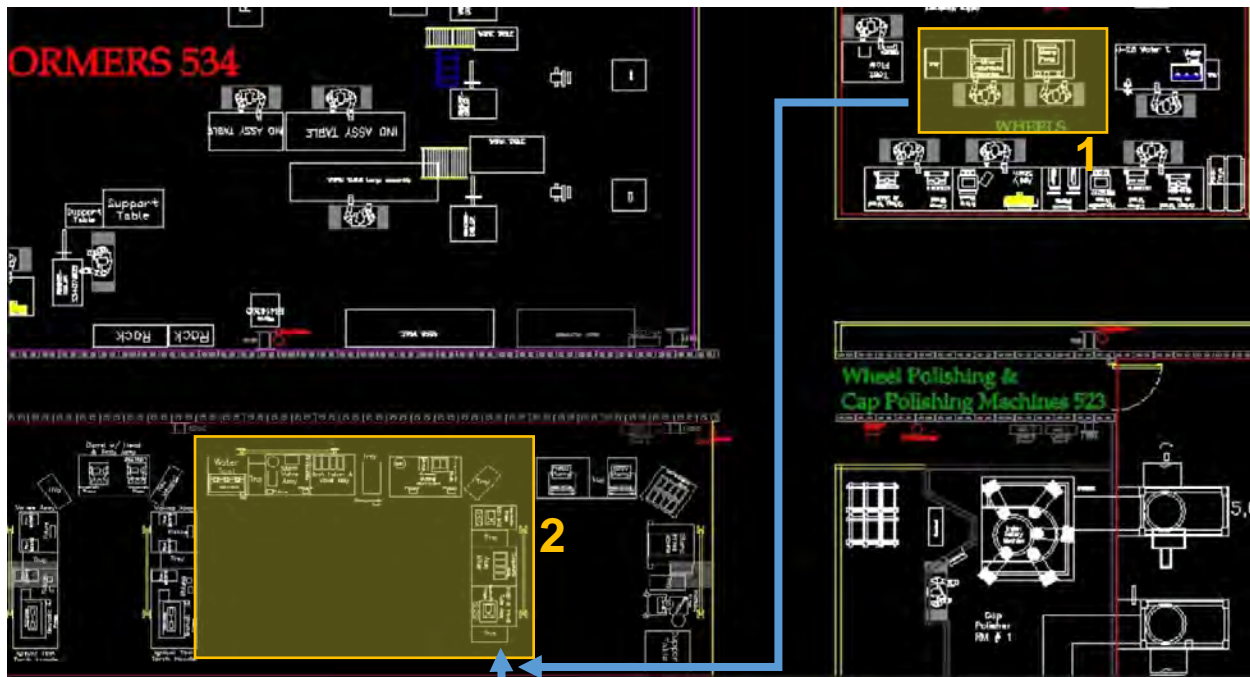


Figura 4.22. Layout del proceso antes de los cambios propuestos.

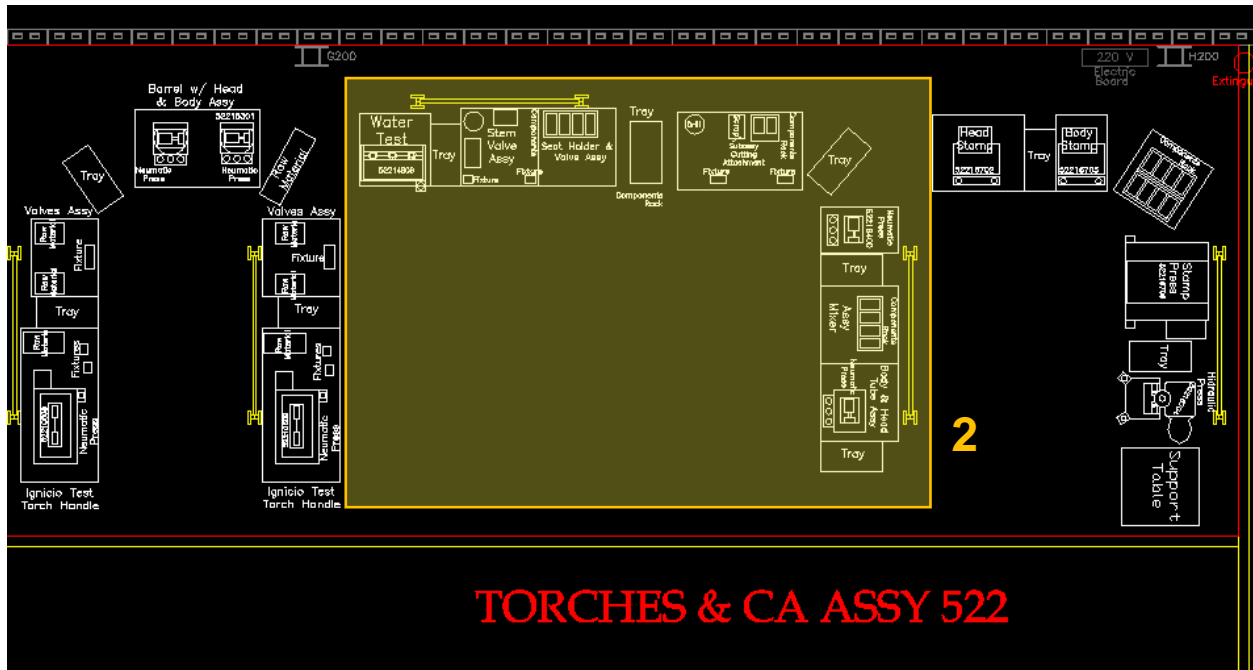


Figura 4.23. Layout del proceso antes de los cambios propuestos, área de ensamblaje.

En la figura 4.25 se muestra el cambio al proceso que se obtuvo una vez implementada la metodología. El cambio realizado se trata de agregar las estaciones que incluyen los procesos del 1 al 11 teniendo una estación celular. Para disminuir el tiempo y distancias entre cada estación de trabajo. Quedando un ahorro en distancia de 78 pies en comparación de la distribución que se tenía anteriormente.

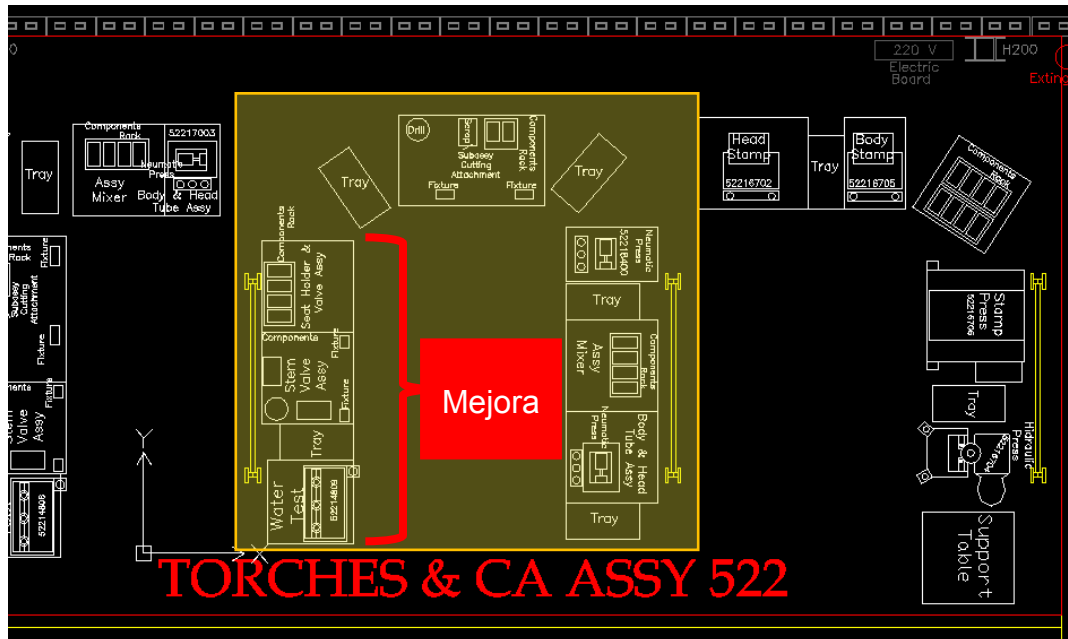


Figura 4.24. Layout del proceso después de los cambios propuestos, área de ensamble.

Por último, antes el área de empaque se encontraba por separado del área, por lo que se decidió en la misma celda aplicar esas operaciones, en la figura 4.27 se muestra el antes de la implementación y en la figura 4.28 el después de la misma. Donde los resultados fue el flujo de una sola pieza del producto final y a su vez, la mejora de una persona menos en el área de empaque, quedando solo una persona en la línea de ensamble, además de tener un ahorro de 56 pies en relación al diagrama antes de la implementación.

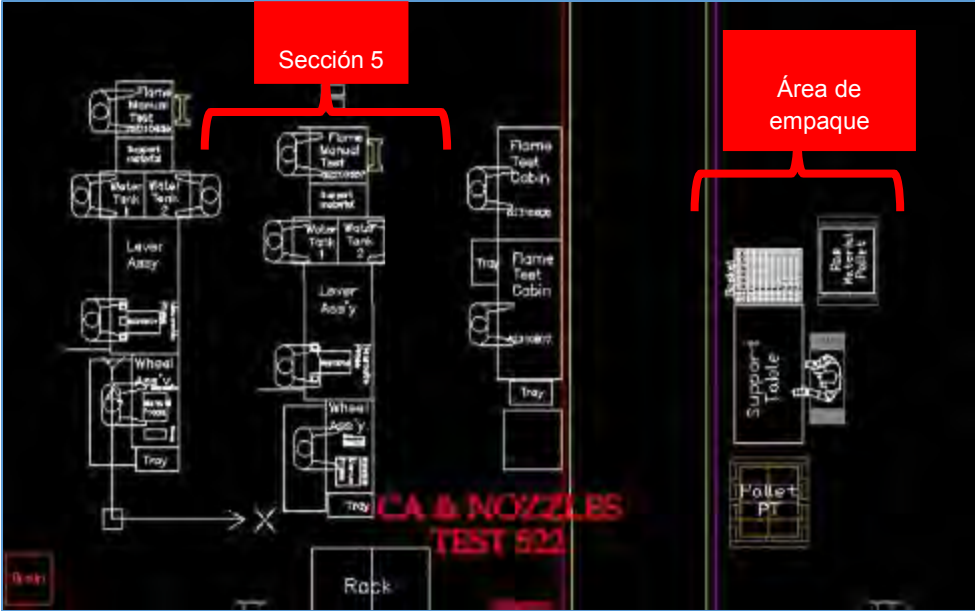


Figura 4. 25 Distribución de empaque antes de la implementación.

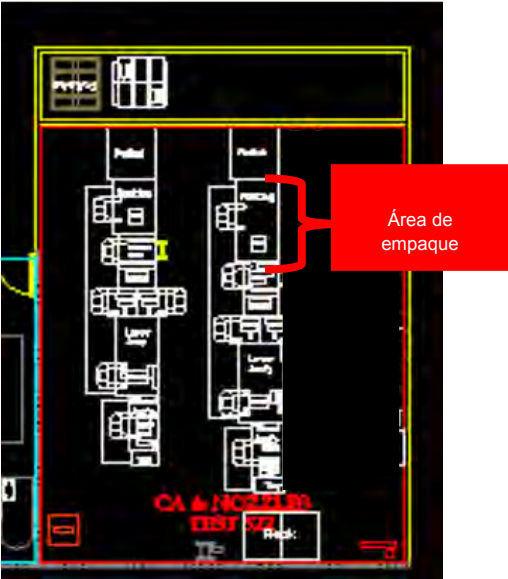


Figura 4. 26 Distribución de empaque después de la implementación.



## ➤ Indicador de tiempo estándar

Para comprobar que el diseño de la distribución es la correcta, se tomó en cuenta el takt time para una demanda de 600 piezas (que son las que se fabrican diariamente), con un turno diario compuesto de 8.9 horas, es decir 32,040 segundos. Aplicando la fórmula de takt time (tiempo disponible/Demanda), el resultado del takt time fue de 53 segundos.

Posterior a esto, se realizó el estudio de tiempos de las 4 estaciones que corresponden a la sección 1 vistas en la figura 4.12. En la figura 4.29 se aprecia los 4 operadores que estarán en las estaciones que forman parte de la sección anteriormente mencionada.

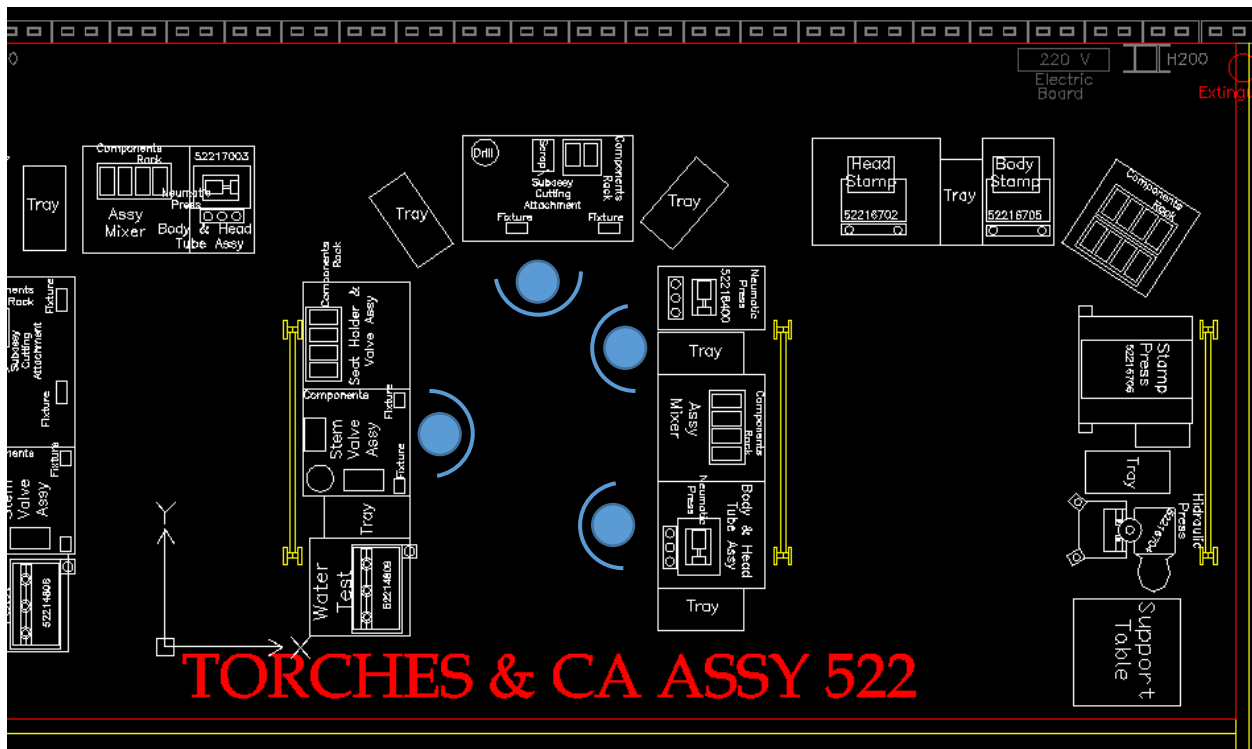
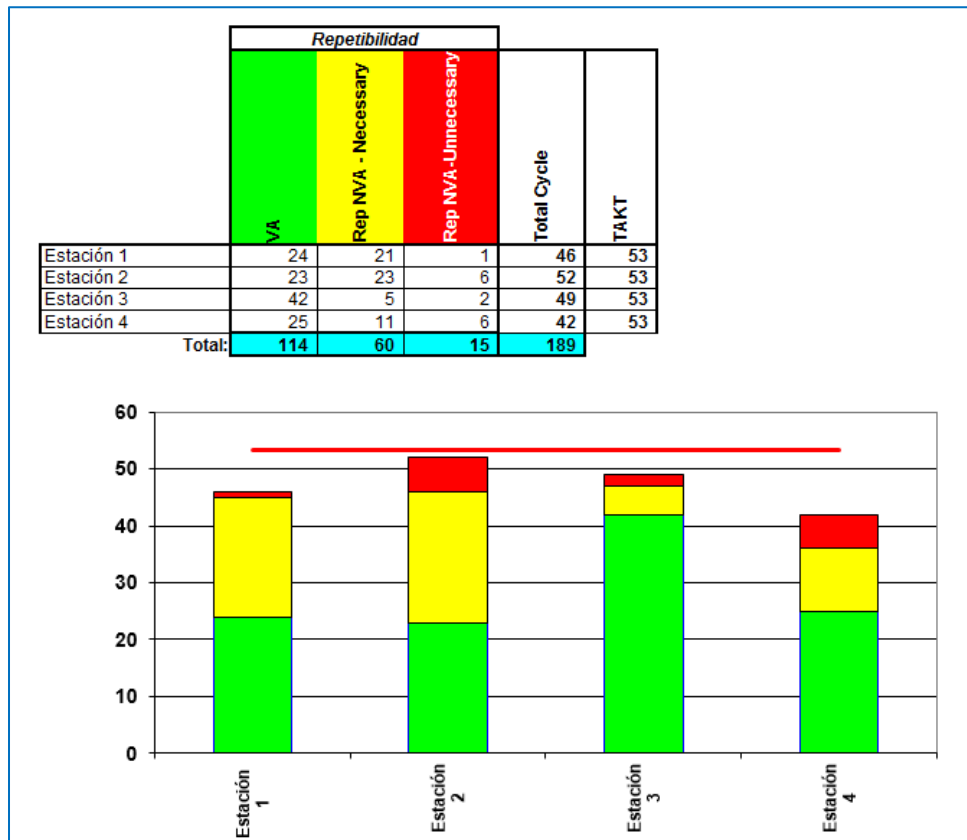


Figura 4. 27 Estaciones de trabajo de sección 2

En anexos 2, se encuentran el desglose de las actividades de cada una de las estaciones, donde se muestran los tiempos en segundos que le toma a cada operador realizar sus operaciones. En la figura 4.30 se muestra el yamazumi final de este balanceo, el cual muestra que las actividades realizadas por el operador son menores al takt time (53 segundos), dando el mayor tiempo de ciclo la estación 2. Como resultado final, se obtuvo un valor aceptable en el estudio de tiempos con los cambios, pero existen

grandes mejoras que realizar para eliminar los tiempos de valor no agregados necesarios al formar un total de 60 segundos del total de las operaciones. Esto es considerando cumplir una demanda diaria de 600 piezas.



**Figura 4. 28 Hoja de Balanceo con Yamazumi correspondiente a sección 1.**

Para la sección 2 el tiempo de ciclo se muestra en la figura 4.31, donde muestra que es un valor no favorable, ya que se tiene muchos desperdicios en la parte de set ups y acciones que necesitan reforzarse que no agregan valor al producto.

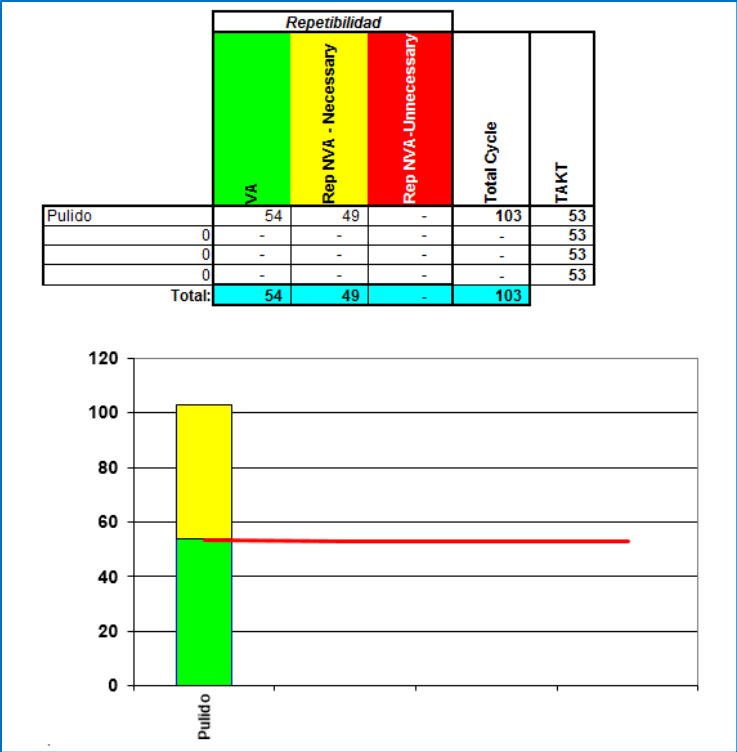


Figura 4. 29 Yamazumi para área de pulido, sección 2

Para la sección 3, corresponde al yamazumi de la figura 4.32 que muestra el tiempo de ciclo de una pieza de la llave del producto que necesita pulido. El resultado del estudio fue favorable, ya que dio dentro del takt time, pero con gran oportunidad de mejora al esperar en la máquina 32 segundos para que la máquina terminara su ciclo.

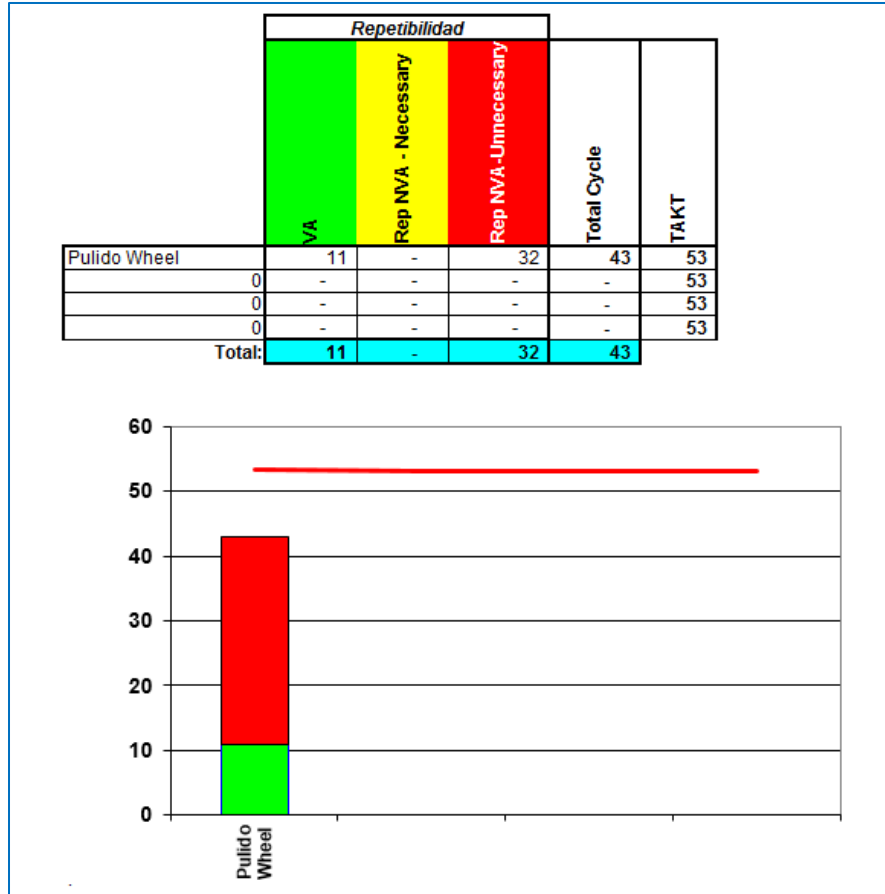


Figura 4. 30 Yamazumi para pulido de Wheel, sección 3.

Para la sección 4, se manejó el yamazumi de la figura 4.33 para el proceso de laqueado, el cual se trata de un proceso semiautomático. El resultado fue favorable, ya que fue igual al takt time de 53 segundos. Por lo que al final no se necesitará mejora inmediata en esta estación.

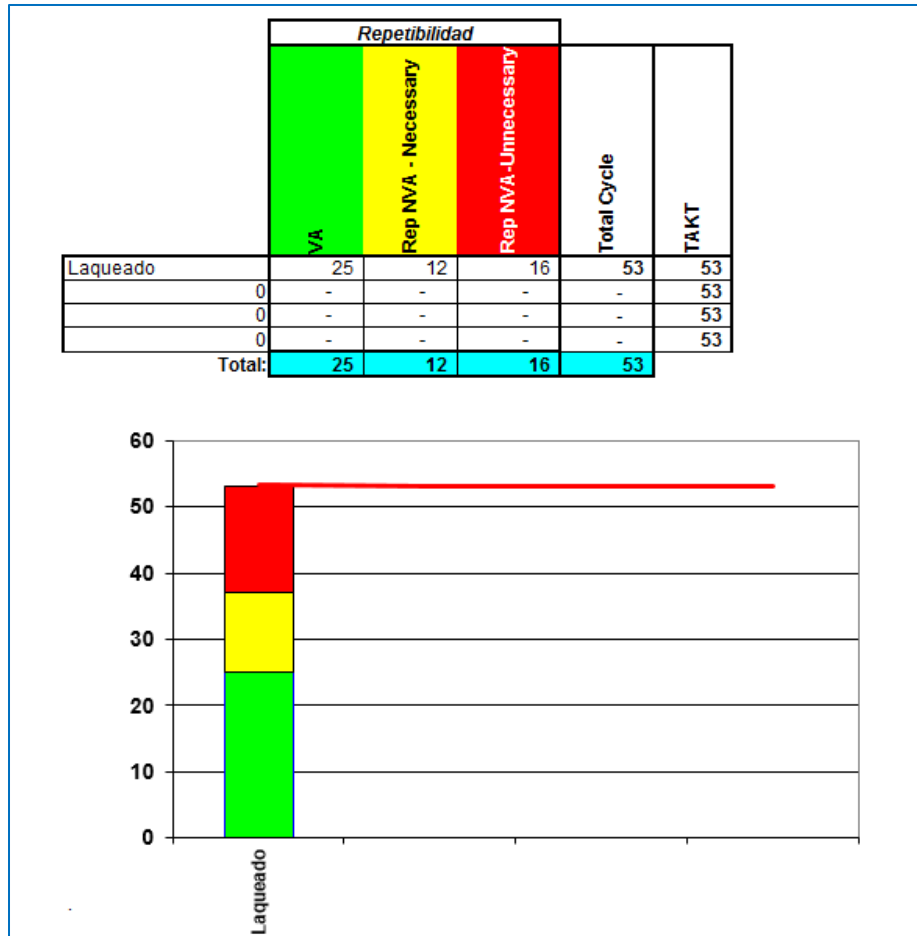


Figura 4. 31 Yamazumi para estación de laqueado, sección 4.

Finalmente, en la sección 5 se realizó de igual manera el yamazumi que se muestra en la figura 4.34 para identificar la evaluación de las mejoras realizadas durante la implementación de la metodología en las estaciones de trabajo que se muestra en la figura 4.35, las cuales corresponden a 4 operadores. El resultado fue la obtención una línea con ineficiencias en las últimas dos estaciones, por lo que será necesario rebalancear las actividades de las primeras dos con sus posteriores, es decir limpieza y empaque.

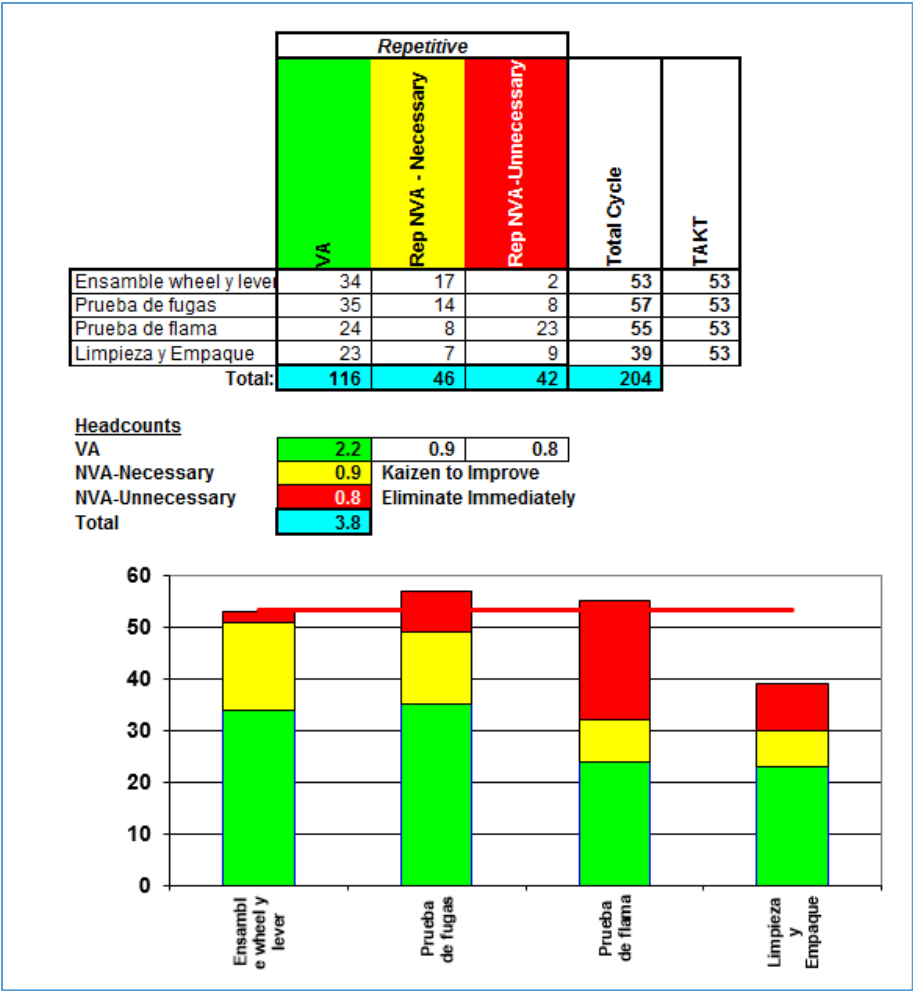


Figura 4. 32 Yamazumi de estaciones de trabajo de sección 5.

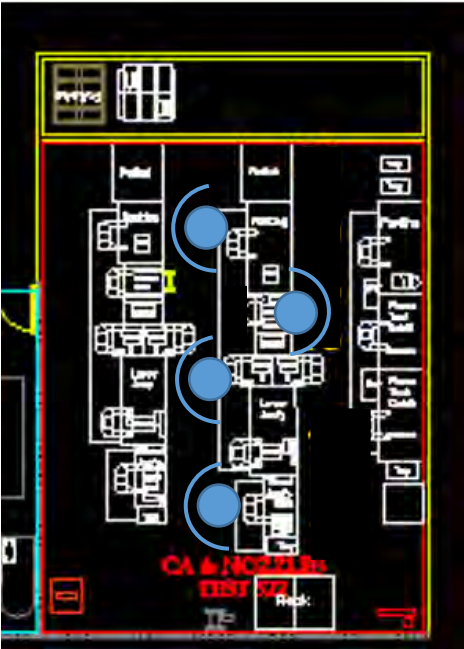


Figura 4. 33 Estaciones de trabajo con operadores en cada área de trabajo, sección 5.

➤ **Indicador CPK**

Para evaluar el comportamiento de los materiales y su correcto ensamble con los elementos de fijación de medición, se realizó CPKs en cada uno de las herramientas que se implementaron para el ensamble de las piezas, aquellas donde sufrieron cambios en las líneas de producción. En las figuras 4.36 y 4.37 se muestran los 3 rangos de valor de torque que se tomarán en cuenta para realizar las muestras y posteriormente, obtener el resultado de CPK.

En la figura 4.36 incluyen los valores para el CPK de la estación 4 (80-90 in/lbs) y de la estación 6 (40-50 in/lbs).

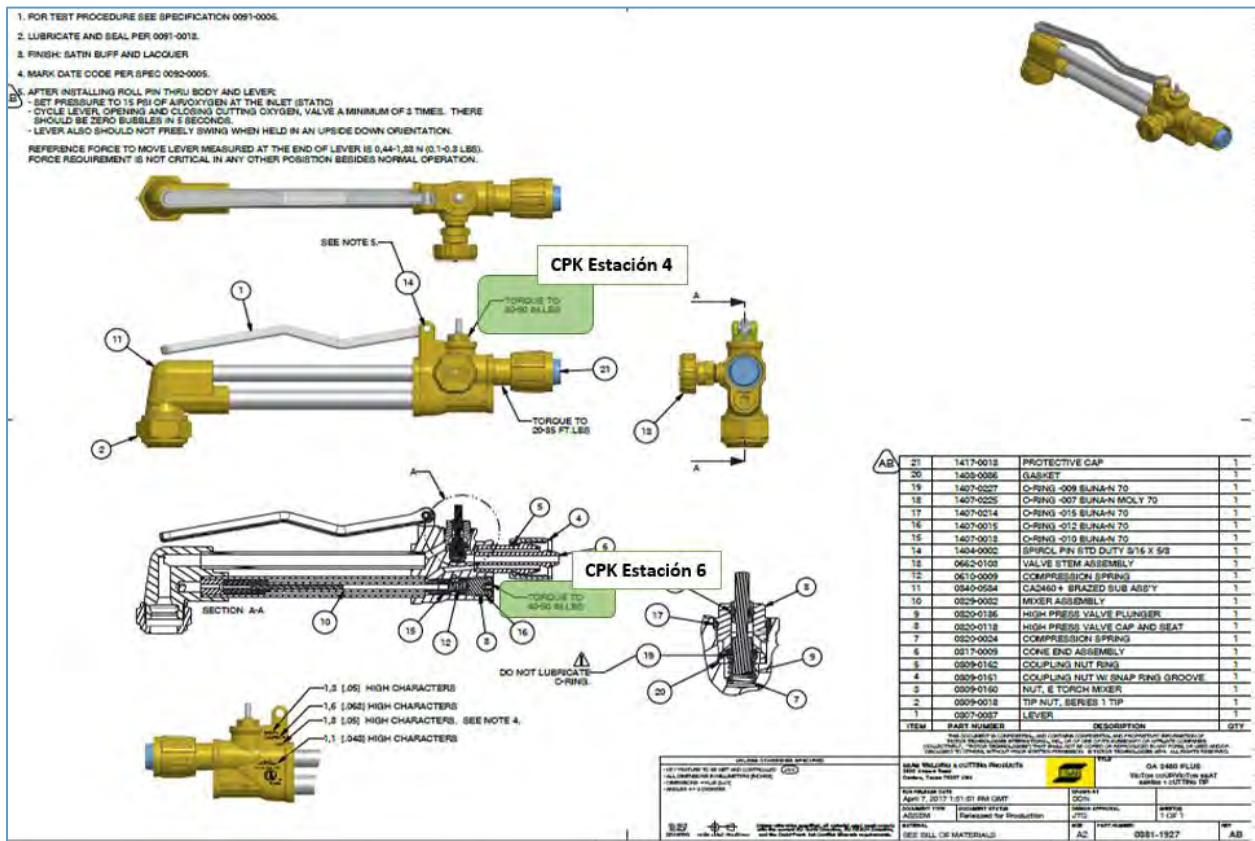


Figura 4.34. Plano con especificación de torque en estación 4 y 6.

Por otra parte, en la figura 4.37 se muestra el valor especificado en el plano para el torque de la estación 9, que forma parte del producto actual.

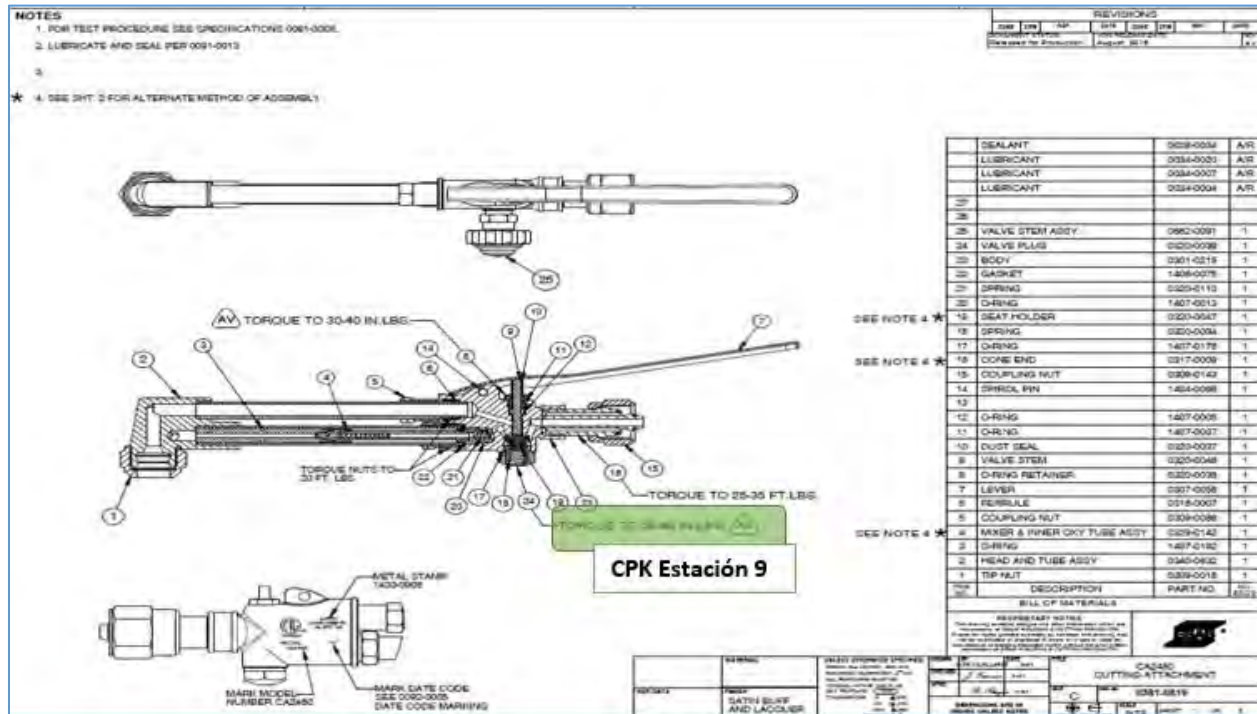


Figura 4.35. Plano con especificaciones de torque en estación 9.

– Estación 4:

En la figura 4.38 se muestra la gráfica de normalidad del proceso en la estación 4 (Ensamble del mezclador de oxígeno con el cuerpo del cutting) que es ensamblado con el sujetador visto en la figura 4.19, donde el valor que pide por plano es de 80 a 90 in/lbs y la repetibilidad del proceso se encuentra dentro de ese margen, por lo que el CPK arrojó un valor de 1.75, que en otras palabras se encuentra **acceptable** para ser utilizado.



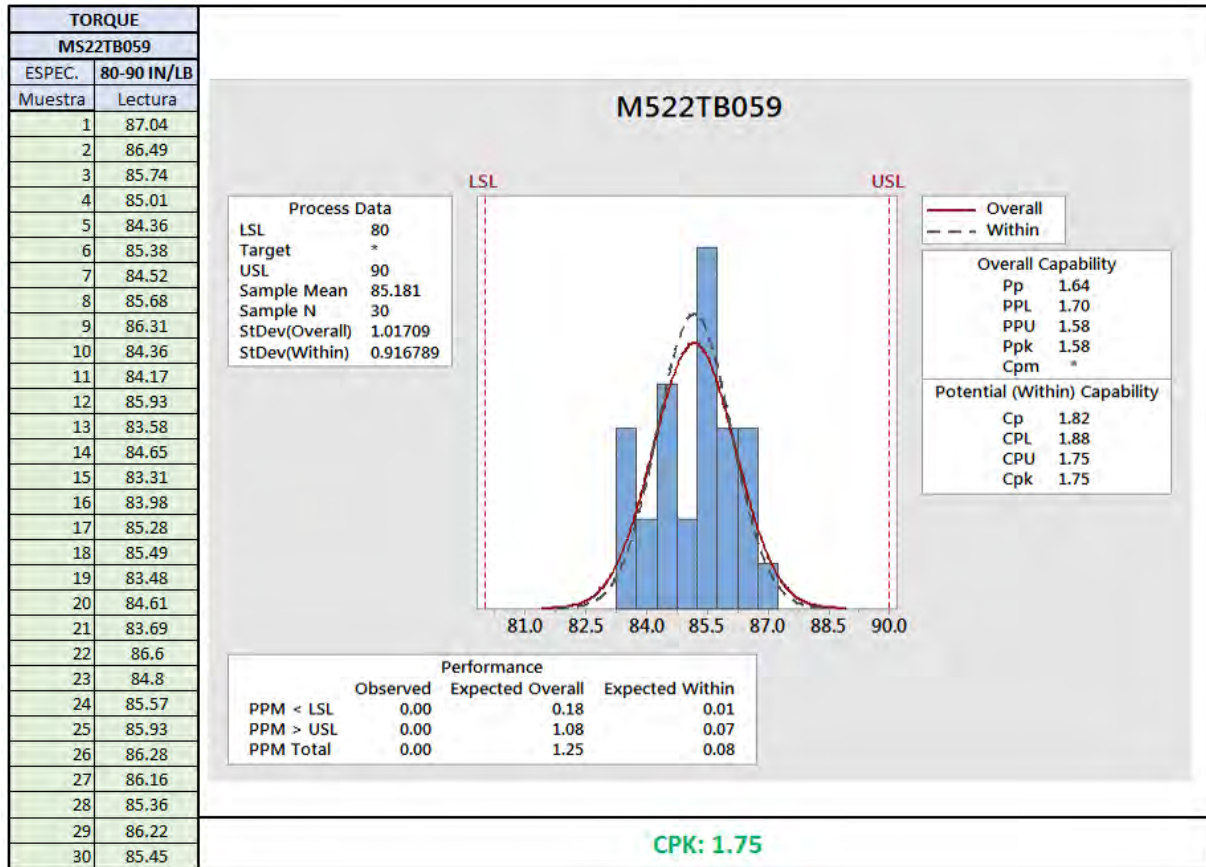


Figura 4.36. CPK de estación 4, ensamble de mezclador

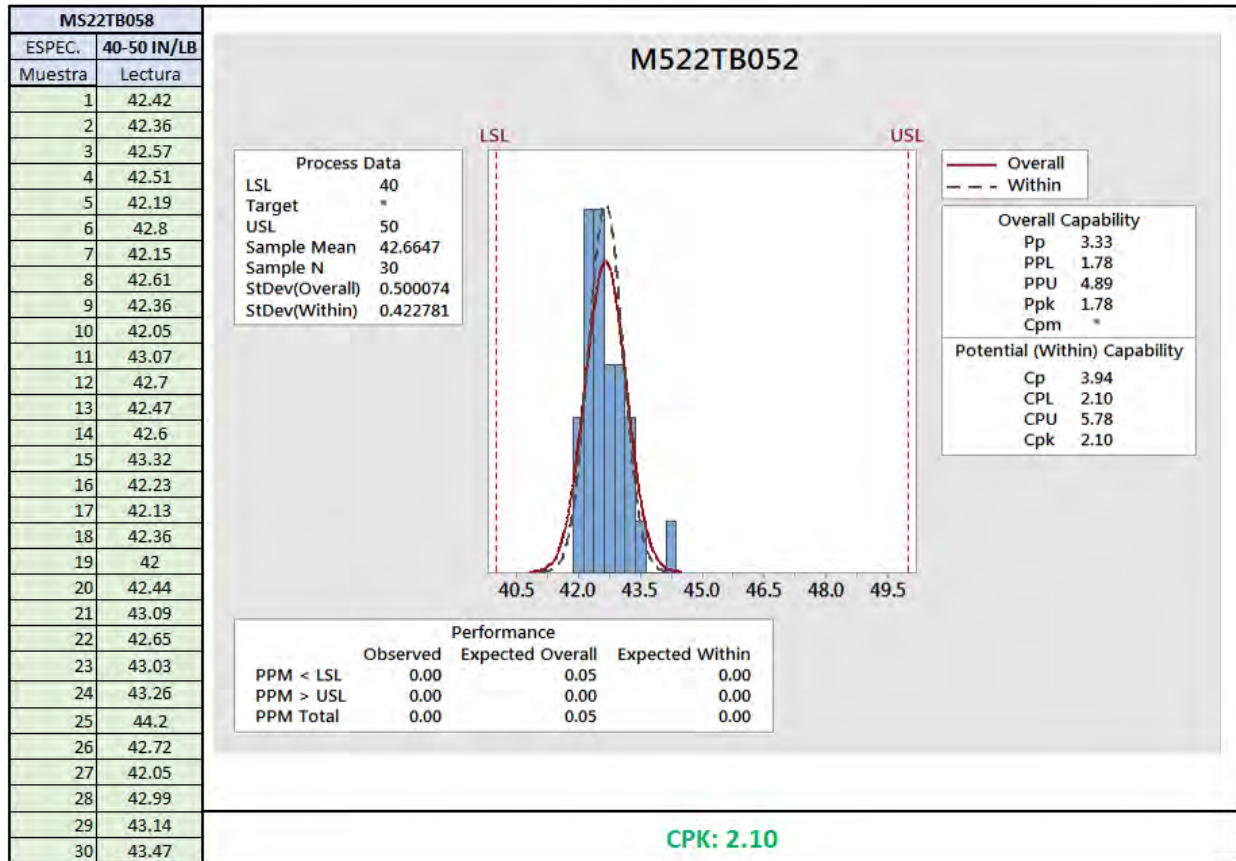
En la figura 4.39 se muestra el elemento sujetador implementado en la estación 4, el cuál permite la sujeción de la pieza de Cutting Attachment para este ajustarse con el torque.



Figura 4.37. Resultado del diseño del sujetador de Cutting attachment Estación 4.

– **Estación 6:**

Se puede observar el CPK de la figura 4.40 correspondiente a la estación 6, donde surge en esta el ensamble del cone end con el cuerpo antorcha, que se encuentra dentro de un proceso **aceptable**. Es decir, su valor es mayor a 1.33 por lo que no existe variaciones grandes y el valor se encuentra dentro de los límites especificados por el plano, los cuales son de 40 a 50 in/lbs.



**Figura 4.38 CPK de estación 6, ensamble de cone end**

En la figura 4.41 se muestra el elemento de fijación implementado en la estación 6, el cual permite la sujeción del cuerpo antorcha con el cone end, el cuál fue diseñado anteriormente en la metodología de implementación.



*Figura 4.39. Resultado del diseño del elemento de fijación estación 6.*

– **Estación 9:**

El CPK que se muestra en la figura 4.42 de la estación 9, donde se realiza el ensamble de los componentes de la válvula realizados con el fijador de la figura 4.22. En este caso, el plano por especificación pide un valor de 30 a 40 in/lbs, donde la repetibilidad del proceso en una muestra de 30 se encontró todas dentro de especificación. A pesar de estar dentro de, no se tiene una buena reproducibilidad, por lo que el CPK dio un valor **rechazable** de .74, ya que el mínimo permisible es de 1.33. Con este valor, será necesario cambiar de torque que permita una mayor repetibilidad en el proceso y asegure valores iguales o en el margen de 30 a 40 in/lbs.

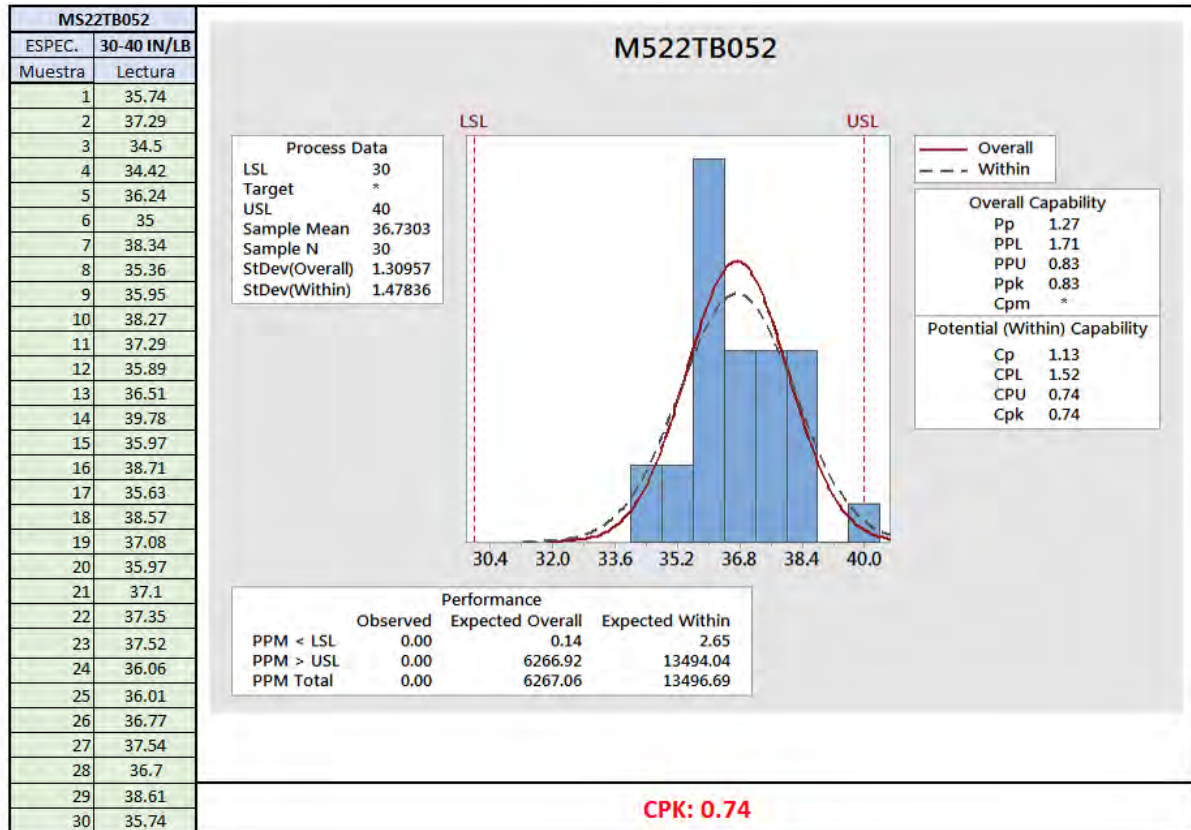


Figura 4.40. CPK de estación 9, ensamble de válvula

En la figura 4.43 se muestra el elemento de fijación implementado en la estación 9, el cual permite la sujeción de los subensambles que forman para del cortador de fase 1, este sujetador fue diseñado previamente.



Figura 4.41. Resultado del diseño del elemento de fijación estación 9.

Con estos tres parámetros establecidos estratégicamente dentro del proceso de ensamble, se tienen valores que permiten aceptar o rechazar cada sujetador aplicado en las líneas de manufactura. Es la forma precisa de evaluar los herramientas de fijación que forman parte de la distribución.

Los resultados fueron favorables para ellos, pero se busca la mejora de la estación 9 para obtener mejores resultados y repeticiones con un torque neumático marca Mountz.

#### **4.4.2.Paso XI: Creación de documentación**

En este paso, es necesario documentar toda la información que forma parte de cada uno de los pasos de la metodología en la fase de su implementación, deberá realizarse documentación vs implementación a la par, para después tener una retroalimentación y evaluación de los pasos obtenidos durante estas etapas.

Es aquí donde se deberán plasmar todas los análisis y resultados de forma clara y concisa para que se tenga de forma concisa la información para el lector.

## **5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.**

A continuación, se explican las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros del presente proyecto.

### **5.1 CONCLUSIONES**

La metodología de estructura de componentes fuertes en complemento con SLP, surgen grandes mejoras en las empresas que desean la mejora continua en sus líneas de producción, o bien, que requieren innovar sus procesos de la forma más confiable y fácil. Personalmente y basado en mi experiencia profesional considero que utilizar bases de estructura de componentes fuertes y SLP en el proyecto de este trabajo, fue una decisión acertada. Las mejoras fueron medidas y los resultados fueron favorables, los cuales son mostrados en los balanceos vistos en la fase 4 de este documento. Así como en los CPKs realizados para evaluar los sistemas de fijación aplicados en la línea de ensamble. Dando por hecho que el objetivo general de la problemática fue logrado.

Utilizar la metodología de estructura de componentes fuertes brindó un trabajo más limpio a la hora de realizar la distribución y fácil de interpretar. Existen muchas mejoras que se deberán realizar posterior a esto, ya que la automatización forma parte de una de ellas, para evitar actividades que no agregan valor agregado al producto.

El diseño de los elementos de fijación ayudó al operador en el ensamble de los componentes de manera segura y con la calidad que el producto requiere. Se utilizaron indicadores de CPK para evaluar los resultados.

Al momento del balanceo de las líneas, como se muestra en la fase de medición de resultados, es posible ver que en las máquinas de pulido no existe un correcto balanceo, lo que ingeniería tendrá que ajustar sus tiempos de preparación o ciclos de la máquina para compensarlos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

En cuestión de los sujetadores será necesario agregar una adaptación de una prensa manual al herramental de sujeción de la estación 3, ya que esta al momento del impacto, no marcaba de manera uniforme por falta de sujeción. En la imagen 5.1 se muestra el sujetador de estampado que requiere la mejora.



*Figura 5.1 Elemento de sujeción para estampado de piezas*

Otro punto importante, es en el elemento de fijación utilizado en la estación 4, se complicó la parte del maquinado y la entrega del torquímetro, por lo que será necesario utilizar un torque manual que el operador manipularía para las primeras corridas. El tiempo de entrega del atornillador fue de 2 meses más a la fecha prevista, por lo que el uso de torque manual es una buena opción.

También, al momento del diseño del layout, no se consideró la transportación inmediata a los materiales de pulido, por lo que es necesario establecer contenedores con llantitas para ser transportados.

Con argumentos en los CPKs, en la estación 4 al momento de medir los resultados de herramental y tiempo, no se obtuvo un valor favorable en el CPK, por lo que se tuvo que



rechazar el torque de ensamble y ser reemplazado por uno nuevo que tenga mayor repetibilidad y reproducibilidad en las entregas de su lectura.

Finalmente, en la segregación de actividades para el tiempo de ciclo de las estaciones de trabajo, se encontró con aquellas acciones que no generan valor agregado al proceso, tal es el caso de aplicación de loctite o colocar material en algún sujetador, por lo que la aplicación de automatización será relevante para mejorar los tiempos estándares de las estaciones en la sección 1 y 5.

### **5.3 TRABAJO FUTURO**

Para continuar con la mejora implementada, será necesario revisar los estándares de trabajo y que los operadores cumplan correctamente con cada uno de ellos y su entrenamiento, por medio de auditoria de procesos que imparte calidad.

Finalmente, al tratarse de una mejora en un solo producto, se debe cuidar si se desea implementar uno más en un futuro, se deberá realizar nuevamente toda la metodología para evitar variaciones en los tiempos de ciclo ya revisados.



## 6. REFERENCIAS

Alfieri A. y Nicosia G., 2007. Minimum cost multi-product flow lines. *Annals of Operations Research*, 150(1), pp.31–46.

Anaya D.A., 1998. “Implantación de Equipos en Plantas Petroquímicas. Recomendaciones para el Diseño del (PLOT-PLAN)”, Instituto Mexicano del Petróleo, Ingeniería Química.

Ariful M.I., Anam C.A, Hasan J., 2017. *Productivity improvement through the application of systematic layout planning technique*. Review of general management Volume 25, Issue 1. Pp. 38- 53.

Arteaga R. 2012. Licenciatura en Administración. Primera Edición. Suayed Editorial. México. Pp. 109.

Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., Palumbo, M., y Salini, P., 2015. *Safety-based process plant layout using genetic algorithm*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 34, pp. 139–150.

Chen, J., Zhang, Y.F., and Nee, A.Y.C., 1998. Setup planning using Hopfield net and simulated annealing. *International Journal of Production Research*, 36 (4), 989–1000.

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 para optar el título de doctor. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 81-83.

Cortés P., 2007. Distribución en planta: Layout. Grupo de ingeniería de organización. Universidad de Sevilla, pp. 5-7.

Daniilidis, C., V. Enßlin, K. G. Eben, and U. Lindemann. 2011. “A Classification Framework for Product Modularization Methods.” *Impacting Society through Engineering Design*, Vol. 4: Product and Systems Design, Lyngby/Copenhagen, Pp.15–19.

González J.A. 2012. Diseño de la distribución en planta de la empresa master lock utilizando el algoritmo de optimización de colonia de hormigas. México. Pp. 18-19.

Groover M.K. 2015. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 4th Edition. Prentice Hall. Pp. 6-7.

Gupta, G. E. 2013. "Analysis of Modularity Implementation Methods from an Assembly and Variety Viewpoints." International Journal of Advanced Manufacteri Technology 66 (9–12) Pp. 1959–1976.

Han, K., Cho, S., y Yoon, E. S. 2013. *Optimal Layout of a Chemical Process Plant to Minimize the Risk to Humans*. Procedia Computer Science, 22, 1146–1155. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.201>

Heragu Sunderesh S., 2016. Facilities Design. Third Edition, CRC Press, United States. pp. 68-73.

Hernández S.R., Fernández C. C., Baptista L. P. 2014. Metodología de la investigación. McGraw Hill. Sexta Edición. México. Pp. 22-30.

Holl G., Vierhauser M., Heider W., Grünbacher P., Rabiser R., 2011. Product Line Bundles to Support Product Derivation in Multi Product Lines. In *Proceedings of the 15th International Software Product Line Conference, Volume 2*. pp. 41:1-41:6.

Hui, L. y Shi-you, Q., 2013. Systematic Layout Planning: A study on coal mine facilities. 2013 International Conference on Management Science and Engineering 20<sup>th</sup> Annual Conference Procedings, pp. 1944- 1949.

Jiang K., Zhou X., Li M., 2013. Computer-aided checking fixture design system for automobile parts. International Journal of Production Research. Volume 51 No. 20. Pp.6045-6069

Li, M., 2010, *Design of layout rearrangement of enterprise logistics based on the combination of SLP and SHA*, JAMK University of Applied Sciences. Pp. SN

Lau H. y Mak K. (2004) The design of flexible manufacturing using an extended unified framework. Journal of Manufacturing Technology Management. Vol. 15 (3), pp. 222-238. 1

Li, Z. R., Qin, L., y Cao, Z. Q. 2012. Application of SLP Method in Design of Facilities Layout in Workshop. Applied Mechanics and Materials, Pp. 28–32. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.190191.28>

Lugo-Márquez S., Grisales A.G., Rubio O., Eder E.E., 2016. Modular redesign methodology for improving plant layout. Journal of Engineering Design. Vol. 27, num. 1–3, Pp. 50–74.

- Marchwinski C., Shook J., Cambridge C. 2014. Lean Lexicon A graphical glossary for lean thinkers. Quinta Edición. Lean Enterprise Institute, Inc. pp. 120-121.
- Milá L., Valdés R., García C., Tamayo A., Padilla S., Ortega M. 2010. Quality risk Management Application review in Pharmaceutical and Biopharmaceutical industries. *Bioprocessing Journal*;9(1) pp. 25-34
- Meyers F.E., Stephens Matthew P., 2013 .*Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Quinta Edición. Prentice Hall. México. pp. 2 -10.
- Moore J.M., “Plant Layout and Design”. 1969. The Macmillan Company. United States.
- Montgomery J.A. 2004. Control Estadístico de la Calidad. Third Edition. Limusa Wiley. Pp. 420-421.
- Muther R.; 1973. Systematic Layout Planning, Boston: CBI Publishing Co, pp. 28-35
- Muther R. y Wheeler J.D; 1981 Systematic Layout Planning. Management and Industrial Research Publications. Pp. 35-43.
- Niebel Benjamin W y Freivalds, Andris. 2014. Ingeniería Industrial, Métodos estándares y diseño del trabajo. Ed. McGraw-Hill 13ava Edición.México pp. 36-40.
- Nonaka, I. 2000. “The Knowledge-creating Company.” *Harvard Business Review* 69 (6): 96–104. Otto, K., and K. Wood. 2001.
- Patsiatzis D.I. & Papageorgiou L.G., 2002. Optimal multi-floor process plant layout. In *Computers and Chemical Engineering*. pp. 575–583.
- Pierre M.,1978. “Distribución en Planta”, Deusto Serie B Tomo 1. España Pp. 12-15.
- Prasad R. D., Vishwa K. K., Jeeva P.A., 2016. *Systematic Layout Planning and Balancing of Engine Production Processes for After Test and Paint Assembly Lines*. *Int. Vehicle Structures & Systems*, 8(1), pp. 41-44.
- Rojas G., 2005. Distribución de planta para una oficina bancaria por medio de algoritmos genéticos. Título que para obtener el grado de ingeniero industrial. Universidad de los Andes. Departamento de ingeniería industrial. Santafé de Bogotá, D.C. pp. 57-63.
- Romero-Dessens D.L.F., 2006. *El diseño de un modelo estructural para ambientes de producción con productos múltiples*. EPISTEMUS, número 1, México, pp. 24- 31.

Rong, Y., Hu, W., Kang, Y., Zhang, Y. and Yen, D., 2001, Locating error analysis and tolerance assignment for computer-aided fixture design. *Int. J. Prod. Res* 39, Pp. 3529–3545

Salazar A.F., Vargas L.C., Añasco C.E., Orejuela J.P., 2010. Propuesta de distribución en planta bietapa en ambientes de manufactura flexible mediante el proceso analítico jerárquico. *Revista EIA*, num 14. Pp. 161-175.

Sule, D.R., 2001. *Instalaciones de manufactura, Ubicación, Planeación y Diseño*, Segunda Edición, Thomson Learning.

Tarazona, G., Rodríguez, L., y Ochoa, J., 2014. *Modelos de Optimización de la Distribución en Planta. Optimization models in Layout*. Novena conferencia ibérica de sistemas y tecnologías de la información. Barcelona. pp. 1–6.

Tompkins J. A., Tanchoco J. M. A., Bozer A. y White J.A., 2016. *Facilities Planning*. Fourth Edition. Wiley International. US. pp.3 - 4.

Vokurka, R. J., and O’Leary-Kelly S. W. 2000. “A Review of Empirical Research on Manufacturing Flexibility.” *Journal of Operations Management* 18 (4) P.p. 485–501.

Wang Y., Hodgson A., Chen X., Giindy N., 2008. A methodology for the development of machining fixtures for components with complicated geometry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 21 num 7. UK. Pp. 848-855.

Wang, H., Y. K. Rong, H. Li, and P. Shaun. 2010. “*Computer Aided Fixture Design: Recent Research and Trends*.” *Computer-aided Design*. Volume 42 Num.12. Pp. 1085–1094.

Wilson, W.F. and Holt, J.M.,1962. *Handbook of Fixture Design*, McGraw Hill: St. Louis, MO. Pp. 23-25.

Wu, Y., Y. Rong, and T. C. Chu. 1997. “Automated Generation of Dedicated Fixture Design.” *International Journal of Computer Applications in Technology* 10 (3). Pp. 213–235

Xu, J. H., Yang, H. B., Chen, Z. L., Mao, F. Y., y Wang, H. T. (2013). Layout Optimization for Welding Workshop of Vehicle Door Based on SLP. *Applied Mechanics and Materials*, 459, Pp. 356–360.

Ye, M. and Zhou, G., 2005. *The application of genetic algorithms in the bi-criteria layout problem*. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 25(10), pp. 101–107.

Y. Zhu and F. Wang. 2009. *Study on the general plane of log yards based on systematic layout planning*, Proc. IEEE Computer Society, 4, 92-95.

Zhu, X. Y., and H. Ding. 2007. An Efficient Algorithm for Grasp Synthesis and Fixture Layout Design in Discrete Domain. IEEE Transactions on Robotics Volume 23 (1). Pp.157–163.

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo 1. Secuencia para encontrar R8 en matriz de adyacencia.

IDENTIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	1										1
2		1									1
3			1								1
4				1							1
5					1						1
6						1					1
7							1				1
8								1			1
9									1		1
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10

ADYACENCIA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1			1								1
2			1								1
3				1							1
4					1						1
5						1	1				2
6								1			1
7							1	1			1
8									1		1
9										1	1
M(1)										1	1
TOTAL	-	#	2	1	1	2	1	1	1	1	10

(R1) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1								2
3			1	1							2
4				1	1						2
5					1	1	1				3
6						1		1			2
7							1	1			2
8									1	1	2
9										1	1
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	2	2	3	2	2	2	2	20

ADYACENCIA <sup>2</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2				1							1
3					1						1
4						1	1				2
5						1		1			2
6								1		1	1
7									1		1
8										1	1
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	1	1	2	1	2	1	1	9

R1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1								2
3			1	1							2
4				1	1						2
5					1	1	1				3
6						1	1	1			2
7							1	1			2
8								1	1		2
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	2	2	3	2	2	2	2	20

(R2) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1							3
3			1	1	1						3
4				1	1	1	1				4
5					1	1	1	1			4
6						1	1	1	1		3
7							1	1	1		3
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	3	4	3	4	3	3	28

ADYACENCIA <sup>3</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2				1							1
3					1	1					2
4						1	1				2
5							1	1	1		2
6								1		1	1
7									1		1
8										1	1
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	1	2	1	2	2	1	1	9

(R2) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1							3
3			1	1	1						3
4				1	1	1	1				4
5					1	1	1	1			4
6						1	1	1			3
7							1	1			3
8								1	1		3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	3	4	3	4	3	3	28

(R3) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1	1						4
3			1	1	1	1					5
4				1	1	1	1	1			5
5					1	1	1	1	1		5
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	4
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	5	4	5	5	4	35

ADYACENCIA <sup>4</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2					1	1					2
3						1	1				2
4							1	1			2
5								1	1		2
6									1	1	2
7										1	1
8											-
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	#	2	1	2	2	2	2	9

(R3) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1	1						4
3			1	1	1	1	1				5
4				1	1	1	1	1			5
5					1	1	1	1	1		5
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1		4
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	5	4	5	5	4	35

(R4) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1		1								2
2		1	1	1	1	1					6
3			1	1	1	1	1	1			6
4				1	1	1	1	1	1		6
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	5	6	6	6	6	41

# Anexos

ADYACENCIA <sup>5</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2											-
3											-
4											-
5											-
6											-
7											-
8											-
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	-	#	#	#	1	2	2	7

(R4) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1				6
3			1	1	1	1	1				6
4				1	1	1	1	1	1		6
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	6	6	6	41

(R5) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1			7
3			1	1	1	1	1	1			7
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	4
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	7	7	44

ADYACENCIA <sup>6</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2											-
3											-
4											-
5											-
6											-
7											-
8											-
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	-	#	#	#	1	2	2	5

(R5) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1			7
3			1	1	1	1	1	1			7
4				1	1	1	1	1	1		7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	7	7	44

(R6) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1		8
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	8	46

ADYACENCIA <sup>7</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2											-
3											-
4											-
5											-
6											-
7											-
8											-
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	-	#	#	#	-	1	2	3

(R6) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1		8
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	8	46

(R7) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	9	47

ADYACENCIA <sup>8</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1											-
2											-
3											-
4											-
5											-
6											-
7											-
8											-
9											-
M(1)											-
TOTAL	-	-	-	-	#	#	#	-	#	-	-

(R7) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	9	47

(R8) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	9	47

## Operación AND

(R8) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										2
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
3			1	1	1	1	1	1	1	1	8
4				1	1	1	1	1	1	1	7
5					1	1	1	1	1	1	6
6						1	1	1	1	1	4
7							1	1	1	1	5
8								1	1	1	3
9									1	1	2
M(1)										1	1
TOTAL	1	1	3	3	4	6	5	7	8	9	47

AND

Transpuesta de (R8) ADAPTABILIDAD											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M(1)	TOTAL
1	1										1
2		1									1
3			1	1							3
4				1	1	1					3
5					1	1	1				4
6						1	1	1	1		6
7							1	1	1		5
8								1	1	1	7
9									1	1	8
M(1)										1	1
TOTAL	2	9	8	7	6	4	5	3	2	1	47

=

## 7.2 Balanceo de estaciones de trabajo

### ➤ Toma de tiempos para sección 1:

#### – Estación 1

Ciclo (Seconds activity lasted)

Actividades	Rango										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%							
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar inyector	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Tomar Mixer	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	x			3			
Ensamblar inyector con mixer	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	x			6			
Colocar pieza en máquina	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	x			3			
Retirar mixer	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3		x			4		
Tomar cutting con body	6	6	6	6	6	6	7	6	7	7	x			7			
Colocar cutting con body en fixture	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	x			2			
Colocar mixer en cutting body	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		x		2			
Tomar mixer nut	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2	x			3			
Aplicar torque a mixer nut	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x				1		
Ajustar mixer nut	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	x			4			
Retirar cutting body de fixture	6	6	6	6	6	6	7	6	7	7	x			7			
Colocar body en bin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		x					1
<b>TOTAL:</b>	<b>28</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>39</b>				<b>24</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

#### – Estación 2

Ciclo ( activity lasted)

Actividades	Rango										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Non-Value Added - Innecesario	
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%							
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar body	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	x			1			
Estampar body	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	x			2			
Colocar body en bin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x			1			
Caminar a estación dentro de celda	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5		x			6		
Tomar orings	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3		x		3			
Colocar en fixture	2	4	2	4	3	2	2	4	3	2		x			3		3
Tomar cone end	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3		x			3		
Ensamblar oring con cone end	9	10	9	9	10	9	9	9	10	9	x			10			
Tomar cutting con body	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4		x		4			
Ensamblar cutting con body y cone end	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x			1			
Colocar en fixture	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		x					2
Aplicar torque	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	x			3			
Ajustar pieza	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	x			4			
Retirar pieza de fixture	6	6	6	6	6	6	7	6	7	7		x			7		
Colocar en bin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			x		1		1
<b>TOTAL:</b>	<b>43</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>46</b>				<b>23</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>6</b>



- Estación 3

Ciclo ( activity lasted)

Actividades	Rango 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100%										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Non-Value Added - Unnecessary	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar body y colocar en fixture	2	3	2	3	2	3	2	3	3	2		x			14	3	
Ajustar nuts	14	13	13	14	14	13	13	14	14	14		x			6		
Aplicar torque a nuts	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5		x					
Retirar body de fixture	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		x				1	
Colocar componentes internos	18	20	18	21	18	19	18	20	18	18		x			19		
Aplicar torque a body	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		x			3		
Retirar body de fixture	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			x			1	
Colocar en bin	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2			x				2
<b>TOTAL:</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>46</b>				<b>42</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	

- Estación 4

Ciclo ( activity lasted)

Actividades	Rango 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100%										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Non-Value Added - Unnecessary	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Colocar componentes de stem	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		x			14		
Aplicar torque a Nut	3	3	3	4	5	4	4	4	5	5		x			4		
Retirar torque	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			x				1
Colocar tapon a body	7	8	8	8	7	8	7	7	8	8		x			8		
Aplicar torque a tapon	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			x		2		
Colocar componentes internos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		x			4		
Aplicar torque a body	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		x			3		
Retirar body de fixture	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			x			1	
Colocar en bin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				x			1
Colocar bin en carrito	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3				x			4
<b>TOTAL:</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>42</b>				<b>25</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	

➤ Toma de tiempos sección 2

Ciclo (Seconds activity lasted)

Actividades	Rango										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar pieza	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Colocar pieza en fixture	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	x			3			
Lijar	25	25	24	25	25	24	25	25	26	25	x			25			
Tomar pieza	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Pulir con Piedra	10	10	11	10	10	10	10	11	10	10	x				11		
Tomar pieza	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	x				4		
Pulir con Cepillo	8	8	9	9	9	8	8	8	8	8	x				9		
Colocar compund	10	9	10	11	10	9	11	9	11	10	x			10			
Tomar pieza	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Pulir con trapo	26	25	24	25	25	24	25	25	26	25	x				25		
Colocar pieza en traya	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	x			4			
<b>TOTAL:</b>	<b>66</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>92</b>	<b>97</b>	<b>101</b>	<b>98</b>	<b>95</b>				<b>54</b>	<b>49</b>	<b>-</b>	

➤ Toma de tiempos sección 3

Ciclo (Seconds activity lasted)

Actividades	Rango										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Innecesario	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar pieza	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Colocar pieza en fixture	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	x			3			
Lijar	25	25	24	25	25	24	25	25	26	25	x			25			
Tomar pieza	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Pulir con Piedra	10	10	11	10	10	10	10	11	10	10	x				11		
Tomar pieza	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	x				4		
Pulir con Cepillo	8	8	9	9	9	8	8	8	8	8	x				9		
Colocar compund	10	9	10	11	10	9	11	9	11	10	x			10			
Tomar pieza	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	x			4			
Pulir con trapo	26	25	24	25	25	24	25	25	26	25	x				25		
Colocar pieza en traya	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	x			4			
<b>TOTAL:</b>	<b>66</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>92</b>	<b>97</b>	<b>101</b>	<b>98</b>	<b>95</b>				<b>54</b>	<b>49</b>	<b>-</b>	

➤ Toma de tiempos sección 4

Ciclo (Seconds activity lasted)

Actividades	Rango										Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Inmenesario	Valor agregado	Valor no agregado- Necesario	Valor no agregado- Inmenesario	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10							
Tomar pieza	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	x						
Colocar en Gancho	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	x						
Tomar pistola	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	x						
Abrir pistola	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1		x					
Rociar pieza	25	25	24	25	25	24	25	25	26	25	x			25			
Esperar horno	10	9	10	10	10	9	10	10	10	10		x					
Retirar pieza de gancho	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2		x					
Colocar en traya	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3			x				
<b>TOTAL:</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>48</b>	<b>47</b>				<b>25</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	

➤ Toma de tiempos sección 5

- Ensamble de Wheel y lever

Cycle (Seconds activity lasted)

Work Elements:	Performance Rate:										Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8	Cycle 9	Cycle 10							
aplicar lubricante	1	3	4	3	6	3	2	3	3	4	x						
ajuste de wheel en pieza	18	15	13	25	16	15	17	15	14	14	x			17			
Tomar seat	5	3	3	2	3	3	3	2	3	2		x					
Colocar lubricante en stem	6	5	5	7	5	6	5	6	7	6	x			6			
Colocar pieza en fixture	8	3	3	2	3	3	3	2	3	2		x					
colocacion de lever en pieza	6	5	5	7	5	6	5	6	7	6		x					
Ensamble de pieza con máquina	6	5	5	6	6	4	4	4	4	7	x			6			
desmonte de pieza	6	4	5	5	5	4	4	4	4	7	x			5			
Colocar pieza en mesa	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1			x				
<b>TOTAL:</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>47</b>	<b>49</b>				<b>34</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	

- Pruebas de fugas

Cycle (Seconds activity lasted)

Work Elements:	Performance Rate: 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100%										Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8	Cycle 9	Cycle 10							
Tomar pieza	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1							
Ajuste de pieza	8	7	6	5	9	7	5	5	4	6		x					
Prueba 1 de fugas	7	8	5	6	6	4	5	5	5	6	x			6			
Tomar nut	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1		x					
Colocar nut en cutting	4	5	5	5	4	5	6	5	5	4		x					
ajuste de nut con torque	10	12	10	12	15	12	12	12	12	10	x			12			
prueba de fugas 2	15	15	19	22	15	40	9	9	9	12	x			17			
desmonte de pieza	6	4	4	6	5	4	8	7	5	5			x				
<b>TOTAL:</b>	<b>52</b>	<b>54</b>	<b>52</b>	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>74</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>42</b>	<b>45</b>				<b>35</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	

- Prueba de flama

Cycle (Seconds activity lasted)

Work Elements:	Performance Rate: 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100%										Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8	Cycle 9	Cycle 10							
Montaje en antorcha	5	7	7	9	7	8	10	7	7	7		x					
Prueba de flama	27	21	20	25	26	22	25	24	21	22	x			24			
Desmonte de nut	15	10	12	10	12	11	10	14	12	10			x				12
desmonte de pieza	11	10	10	10	7	11	10	16	12	10			x				11
<b>TOTAL:</b>	<b>58</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>54</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>61</b>	<b>52</b>	<b>49</b>				<b>24</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	

- Limpieza y empaque

Cycle (Seconds activity lasted)

Work Elements:	Performance Rate: 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100%										Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary	Value Added	Non-Value Added - Necessary	Non-Value Added - Unnecessary
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Cycle 7	Cycle 8	Cycle 9	Cycle 10						
Limpieza de la pieza	4	10	10	10	8	9	9	7	9	10			x			9
Colocación de cap	3	4	15	2	4	5	4	3	5	9	x			6		
Tomar caja	2	2	5	2	4	3	2	2	3	4		x			3	
Colocar pieza en caja	12	14	14	13	15	12	13	14	15	13	x			14		
Tomar etiqueta	2	3	4	3	4	3	3	5	3	5		x			4	
Colocar etiqueta en caja	2	4	2	2	2	4	4	3	2	2	x			3		
<b>TOTAL:</b>	<b>25</b>	<b>37</b>	<b>50</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>43</b>				<b>23</b>	<b>7</b>	<b>9</b>