

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD Y REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA 1 DE  
INDUSTRIAS PARTMO S.A.**

**KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS**

**MARÍA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES**

**BUCARAMANGA**

**2009**

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD Y REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA 1 DE  
INDUSTRIAS PARTMO S.A.**

**KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS**

**MARÍA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA**

*Trabajo de grado para optar al título de Ingenieras Industriales*

*Director*

**ING. EDWIN ALBERTO GARAVITO**

**Docente Escuela de estudios Industriales y Empresariales**

*Codirector*

**ING. LUIS FERNANDO PÁEZ CARANTÓN**

**Líder de Productividad y Calidad de Industrias Partmo S.A.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES**

**BUCARAMANGA**

**2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme tantas oportunidades, por no permitirme desfallecer en épocas de decaimiento, por hacerme vivir situaciones difíciles y hacer que las supere en pro de mi crecimiento personal y profesional, pero sobre todo por honrarme con el regalo de la Vida.

Agradezco enormemente a mi madre y hermana por su apoyo incondicional. Siempre las tendré en mi corazón, sin ustedes este logro no existiría.

A mi tía Esther y a mi nonita Teresa, por su amor y paciencia. Sé que siempre contaré con ellas.

A Cristhian Díaz por amarme tanto, por levantarme en los momentos más difíciles y por enseñarme el significado del amor.

A todos los docentes de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales por contribuir en mi proceso formativo.

A Industrias Partmo por permitirme realizar este proyecto y brindarme todos los medios para la consecución del mismo.

A Alejandra Múnera, por compartir conmigo ocho meses que finalmente nos dejaron la satisfactoria sensación del deber cumplido.

Gracias a todas aquellas personas que me apoyaron directa o indirectamente en el camino de mi formación académica.

**KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su amor, por acompañarme y guiarme en cada paso que doy, por regalarme a todas las personas que me han acompañado a lo largo de mi vida y por darme cada una de las oportunidades que me han hecho la persona que soy.

A mi mamá por su amor y su constante esfuerzo, por permitir que fuera posible este logro que, en gran medida, es de ella.

A mi familia por su apoyo y cariño. Sé que cuento con ellos siempre.

A Andrés Colmenares por su cariño, paciencia y compromiso, por estar conmigo en toda mi carrera y por su apoyo y colaboración durante la realización del proyecto.

A Karen Miguel por su compromiso con el proyecto.

A la familia Partmo por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de grado y por su colaboración durante la ejecución del mismo.

**MARÍA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO</b>	<b>3</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Identificación del problema	3
1.1.3 Limitaciones del estudio	4
1.1.4 Alcance	4
1.1.5 Objetivos	5
1.1.5.1 Objetivo General	5
1.1.5.2 Objetivos Específicos	5
<b>2. CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA</b>	<b>6</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	6
2.2 OBJETO SOCIAL	6
2.3 MISIÓN	6
2.4 VISIÓN	6
2.5 NÚMERO DE EMPLEADOS	7
2.6 CATÁLOGO DE PRODUCTOS	7
2.7 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	8
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
<b>4. DIAGNÓSTICO DEL GRUPO OPERATIVO</b>	<b>24</b>

	Pág.
4.1 PREDIAGNÓSTICO	35
4.2 SELECCIÓN DE REFERENCIA VITALES	36
4.3 RECONOCIMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO	38
4.3.1 Levantamiento del plano de la planta	38
4.3.2 Realización del diagrama de operación	38
4.3.3 Realización del diagrama de recorrido	39
4.3.4 Descripción de operaciones	39
4.3.5 Análisis de cinco “s’s” y despilfarros	44
4.3.5.1 Análisis de las cinco “s’s”	45
4.3.5.2 Análisis de despilfarros.	53
4.3.6 Panorama de riesgos	58
4.4 DIAGNÓSTICO DEL GRUPO OPERATIVO	59
4.4.1 Planeación	59
4.4.2 Mantenimiento	61
4.4.3 Producción	64
4.4.4 Calidad	65
4.4.5 Inventario	66
<b>5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD</b>	<b>67</b>
5.1 ESTUDIO DE TIEMPOS	67
5.2 Capacidad de Partes	71
5.2.1 Troquelar disco tarro	7

	Pág.
5.2.2 Embutir disco tarro	72
5.2.3 Facetar, desfondar y remachar	72
5.2.4 Troquelar tapas	73
5.2.5 Formar tubo central	73
5.2.6 Troquelar disco roscado	74
5.2.7 Punzonar disco roscado	75
5.2.8 Avellanar disco	75
5.2.9 Embutir disco roscado	75
5.2.10 Roscar disco roscado	76
5.2.11 Probar rosca del disco roscado	77
5.2.12 Troquelar aro	78
5.2.13 Pestañar aro	78
5.2.14 Troquelar porta-válvula	78
5.2.15 Troquelar refuerzo	79
5.2.16 Plisar papel	79
5.3 CAPACIDAD DE ENSAMBLE	80
5.3.1 Soldar aro-disco	80
5.3.2 Pegar aro-disco	81
5.3.3 Poner refuerzo al tubo central	81
5.3.4 Soldar refuerzo al tubo central	82
5.3.5 Soldar tapa-válvula	82

	Pág.
5.3.6 Soldar tarro-tuerca	82
5.3.7 Dosificar pegante en tapas	83
5.3.8 Cerrar filtro	83
5.3.9 Limpiar filtro	83
5.3.10 Pintar filtro	84
5.3.11 Curar pintura	84
5.3.12 Secar filtro	84
5.3.13 Marcar filtro	85
5.3.14 Imprimir fecha al filtro	85
5.3.15 Colocar empaque de carcasa	86
5.3.16 Embolsar filtro	86
5.3.17 Empacar filtros en caja	86
5.4 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD INSTALADA	87
<b>6. PROPUESTAS DE MEJORA</b>	<b>90</b>
6.1 REALIZACIÓN DE UN MACRO QUE FACILITE LA PLANEACIÓN DEL PAPEL PLISADO	90
6.2 ASIGNACIÓN DE TROQUELADORAS A UN SOLO PROCESO	93
6.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DE LA PLANTA PARA UN PRESUPUESTO DADO	97
6.4 RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE ALISTAMIENTOS EN LAS PRENSAS	100

	Pág.
<b>7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SLP PARA LA REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA</b>	<b>103</b>
7.1 ANÁLISIS	103
7.1.1 Análisis del flujo de materiales	103
7.1.2 Análisis de relación entre actividades	104
7.1.3 Diagrama de relaciones	105
7.2 PROPUESTAS DE REDISTRIBUCIÓN	106
<b>8. SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA</b>	<b>112</b>
8.1 PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE DE LOS TIEMPOS	112
8.2 PRIMER ESCENARIO DE SIMULACIÓN	114
8.3 SEGUNDO ESCENARIO DE SIMULACIÓN	115
8.4 TERCER ESCENARIO DE SIMULACIÓN	117
8.5 CUARTO ESCENARIO DE SIMULACIÓN	117
8.6 CUARTO ESCENARIO DE SIMULACIÓN	118
<b>9. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS</b>	<b>123</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>124</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>130</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Productos Filtros Partmo	18
Ilustración 2. Estructura Organizacional de Industrias PARTMO S.A.	20
Ilustración 3. Estructura Organizacional Grupo Operativo de Industrias PARTMO S.A.	21
Ilustración 1. Estructura Organizacional Grupo de Apoyo de Industrias PARTMO S.A.	22
Ilustración 5. Troquelado y punzonado de tapa superior	41
Ilustración 6. Troquelado de tapa inferior con válvula de alivio	41
Ilustración 7. Troquelado de tapa Inferior	41
Ilustración 8. Disco troquelado	42
Ilustración 9. Disco embutido-avellanado y roscado	42
Ilustración 10. Aro troquelado y pestañado.	42
Ilustración 11. Aro-disco ensamblado	42
Ilustración 12. Tubo central	43
Ilustración 13. Tarro con draining	43
Ilustración 2. Tarro con facetado	43
Ilustración 15. Tarro con tuerca hexagonal	44
Ilustración 16. Corte de filtro dual ensamblado	44
Ilustración 17. Corte de filtro ensamblado	44
Ilustración 18. Diagrama de red cinco eses	45
Ilustración 19. Utensilios estrictamente necesarios	47
Ilustración 20. Identificación de materiales en la bodega	48
Ilustración 21. Casilleros de operarios	48

	<b>Pág.</b>
Ilustración 22. Identificación de canastas de producto en proceso	49
Ilustración 23. Demarcación de materiales en el almacén de inventarios.	49
Ilustración 24. Paredes sucias	50
Ilustración 25. Aceite alrededor de una máquina	50
Ilustración 26. Cafetería	51
Ilustración 27. Implementos de seguridad	52
Ilustración 28. Primeros Auxilios. Fuente: Autores.	52
Ilustración 29. Formulario papel	91
Ilustración 30. Diseño de la hoja de cálculo para el Macro de capacidad	98
Ilustración 31. Diagrama de relaciones.	108
Ilustración 32. Primera Propuesta de Redistribución.	110
Ilustración 33. Segunda Propuesta de Redistribución.	111

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Número de empleados de planta 1	18
Tabla 2. Referencias relevantes y de crecimiento	37
Tabla 3. Resumen de actividades del diagrama de operaciones.	38
Tabla 4. Distancias recorridas	40
Tabla 5. Cumplimiento de cinco eses	45
Tabla 6. Riesgos Prioritarios en planta-1 de Industrias PARTMO S.A.	58
Tabla 7. Porcentajes de contingencia	70
Tabla 8. Troquelar disco tarro	71
Tabla 9. Embutir disco tarro	72
Tabla 10. Facetar, desfondar y remachar disco tarro	72
Tabla 11. Troquelar tapas	73
Tabla 12. Formar tubo central	74
Tabla 13. Troquelar disco roscado	74
Tabla 14. Punzonar disco roscado	75
Tabla 15. Avellanar disco roscado	75
Tabla 16. Embutir disco roscado	76
Tabla 17. Roscar disco roscado	76
Tabla 18. Probar rosca de disco roscado	77
Tabla 19. Troquelar aro	78
Tabla 20. Pestañar aro	78
Tabla 21. Troquelar porta-válvula	79
Tabla 22. Troquelar refuerzo	79
Tabla 23. Plisar papel	79
Tabla 24. Soldar aro-disco	81

	<b>Pág.</b>
Tabla 25.Pegar aro-disco	81
Tabla 26.Poner refuerzo al tubo central	81
Tabla 27. Soldar refuerzo al tubo central	82
Tabla 28. Soldar tapa-válvula.	82
Tabla 29. Soldar Tarro-tuerca.	82
Tabla 30.Dosificar pegante en tapas	83
Tabla 31. Cerrar filtro	83
Tabla 32. Limpiar filtro	84
Tabla 33.Pintar filtro	84
Tabla 34.Curar pintura	84
Tabla 35. Secar filtro	85
Tabla 36. Marcar Filtro	85
Tabla 37. Imprimir fecha	85
Tabla 38. Poner empaque de carcasa	86
Tabla 39. Embolsar filtro	86
Tabla 40. Empacar filtros en caja	87
Tabla 41. Minutos disponibles en las troqueladoras.	94
Tabla 42. Procesos asignados a las troqueladoras.	95
Tabla 43. Troqueles ahorrados	95
Tabla 44. Beneficios económicos de la propuesta.	96
Tabla 45. Valores del grado de cercanía entre estaciones	104
Tabla 46. Intervalos de intensidad de relaciones	105
Tabla 47. Ahorro de distancia de las dos propuestas de redistribución.	109
Tabla 48. Validación del modelo simulado	114
Tabla 49. Unidades faltantes para cumplir con la demanda	116

	<b>Pág.</b>
Tabla 50. Costo/ Beneficio por la adquisición de una prensa nueva	118
Tabla 51. Costo/ Beneficio de la primera propuesta de distribución	119
Tabla 52. Costo/ Beneficio de la segunda propuesta de distribución	121
Tabla 53. Cumplimiento de Objetivos	122

**TITULO: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD Y REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA 1 DE INDUSTRIAS PARTMO S.A.\***

AUTORES: KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS

MARIA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA\*\*

**PALABRAS CLAVE:**

Filtros  
Línea de Sellado  
Producción  
Simulación  
Promodel

**DESCRIPCIÓN:**

La globalización de la economía caracterizada por la libre competencia, ha cambiando la dinámica de los mercados locales generado la llegada de nuevos competidores en el ambiente local y permitiendo, a la vez, la incursión de las empresas colombianas en los mercados internacionales. Esta nueva dinámica obliga a las empresas colombianas a emprender acciones que garanticen, no solo una oferta de productos con la mejor relación costo-beneficio sino, el cumplimiento oportuno de los pedidos.

Este cambio en los mercados, sumado a la variación en la cantidad de producción mensual obtenida con el cambio de jefe de producción y a que la disposición de la maquinaria, a medida que se iba necesitando, no se realizo con un análisis de distribución en planta, llevó a Industrias Partmo S.A a la necesidad de conocer más a fondo sus procesos y a vislumbrar la posibilidad de hacer una redistribución en planta.

El análisis del mercado por medio de los pedidos tanto satisfechos como insatisfechos, sumado a la caracterización de los tiempos de operación permitieron, por medio de la simulación, hallar la capacidad de la planta, determinándose así el porcentaje de incumplimiento de los pedidos; encontrando, de esta manera, los recursos necesarios para llegar al cumplimiento. De la misma forma se presentaron propuestas de redistribución de planta que permitían aumentar las unidades producidas actualmente, propuestas de mejora de algunos procesos y herramientas informáticas que permitieran darle un uso práctico a cierta información obtenida.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Ingeniería Industrial. Edwin Garavito. Luis Fernando Paéz.

**TITLE: ANALYSIS OF CAPACITY AND REDISTRIBUTION OF PLANT 1 OF INDUSTRIAS PARTMO S.A. \***

AUTHORS: KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS

MARIA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA\*\*

**KEYWORDS:**

Filters

Seal Line

Production

Simulation

Promodel

**DESCRIPCIÓN:**

The globalization of the economy characterized by free competition, has changed the dynamics of local markets generating the arrival of new competitors in the local environment , allowing , at the same time, the incursion of Colombian companies into international markets. This new dynamic requires the Colombian companies to take action to ensure not only an offer of products with the best cost-benefit, but the timely fulfillment of orders.

This change in the markets, coupled with the variation in the amount of monthly production from the change of head of production and the provision of machinery, as it would require no analysis was performed with a distribution facility, Partmo Industries SA led to the need to better understand their processes and to envisage the possibility of a redeployment plan.

Market analysis by means of both satisfied and unsatisfied order, coupled with the characterization of the times of operation enabled by simulation, finding the capacity of the plant, thereby determining the percentage of non-compliance with orders; finding In this way, the resources needed to reach compliance. In the same way were proposed redeployment plan which increased the units produced at present, proposals for improvement of processes and tools that would allow him to use some practical information.

---

\*Work of degree

\*\*Physics-Mechanic Faculty. School of Industrial and Employers. Industrial Engineering. Edwin Garavito. Luis Fernando Páez.

## INTRODUCCIÓN

**“La responsabilidad del ingeniero industrial es la de diseñar una instalación de producción que elabore el producto especificado a la tasa estipulada de producción a un costo mínimo” [Hicks, 1999]**

Entre las múltiples consecuencias que trajo consigo el advenimiento de la revolución industrial se encuentra el cambio de los límites del paradigma que asociaba la distribución en planta como una simple acomodación de los recursos físicos sin la consideración de principios, a la percepción de la distribución como un objetivo económico que puede generar en la empresa ventajas comparativas.

La coyuntura económica actual, enmarcada por un contexto de libre competencia y globalización ha ejercido en las empresas la condición de mejorar la calidad de sus productos y servicios al mínimo costo posible, máxime si dicho costo no agrega valor al cliente. Costos asociados al transporte de materiales en planta, a accidentes de trabajo, a mantenimiento de partes por acumulación de las mismas, son costos que no generan en el cliente beneficio alguno, y por ello, las organizaciones deben concentrar esfuerzos para reducir los mismos.

Es en este punto donde aparece la redistribución de planta como una estrategia que puede generar ventajas económicas siguiendo una metodología basada en las particularidades y variables propias del sistema productivo en estudio, y si dicha metodología está sustentada por un análisis de la capacidad que soporte la falta o exceso de los recursos productivos instalados, la probabilidad de obtener beneficios aumenta significativamente.

Los cimientos de este proyecto reposan en la aplicación de las fases de la planeación sistemática de distribución (SLP) propuesta por el ingeniero industrial Richard Muther; quien recopiló las experiencias obtenidas en ingeniería de distribución en una metodología sistemática que permite en forma procedimental

obtener propuestas de redistribución, considerando las características propias de la planta industrial.

El libro que se presenta a continuación está dividido en ocho capítulos que pretenden plasmar al lector las etapas del análisis de capacidad y planteamiento de propuestas de redistribución en planta aplicadas a Industrias Partmo S.A.; y los resultados obtenidos en cada una de ellas. El primer capítulo muestra las razones por las cuales se realiza el trabajo y los objetivos a cumplir con el desarrollo del mismo; el segundo y tercer capítulo pretenden contextualizar al lector mediante una caracterización de Industrias Partmo, empresa en la cual se realizó el estudio, y con la recopilación de fundamentos teóricos que sustentarán la metodología aplicada en los siguientes capítulos; en el cuarto capítulo se realizó un diagnóstico del grupo operativo de la empresa, grupo de interés para el estudio; el quinto capítulo muestra el análisis de capacidad instalada, mientras que en el sexto capítulo se encuentran las mejoras implementadas y propuestas por los autores del libro. En el séptimo capítulo se encuentra la aplicación de la metodología SLP para proponer dos distribuciones en planta cuyos beneficios serán identificados en el mismo capítulo. Finalmente, en el octavo capítulo se encuentra la simulación realizada para la planta actual y la simulación de las redistribuciones propuestas y el análisis obtenido en cada una de ellas.

# 1 FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes. El bajo grado de tecnificación que caracteriza a Industrias PARTMO S.A., ha constituido al recurso humano en el recurso más valioso no sólo para la realización del proceso productivo sino para la planeación del mismo. Son los empleados quienes, por experiencia, toman las decisiones de funcionamiento de la planta. Esta forma de planeación y dirección trae notables problemas cuando algún empleado se retira de la empresa, ya que el método empírico empleado genera que, al ingresar un nuevo trabajador a determinado cargo, los métodos empleados no tengan continuidad generando cambios bruscos e inesperados.

Uno de estos cambios se evidenció cuando llegó un nuevo ingeniero de producción cuya estrategia de planeación logró que la producción sobrepasara los límites establecidos, revelando al departamento el desconocimiento de la capacidad real de planta e hizo indispensable el estudio de la misma cuando el ingeniero se retiró de la empresa.

1.1.2. Identificación del problema. La economía actual está caracterizada por una competencia globalizada que exige el despliegue de esfuerzos por parte de la dirección, dirigidos al mejoramiento continuo de sus procesos, con el fin de desarrollar ventajas competitivas sostenibles en el tiempo que permitan fidelizar clientes actuales y atraer clientes potenciales.

Tiempo de movimiento de materiales elevado, y congestión de áreas por partes y subensambles y excesivo producto terminado, son características inherentes tanto a la distribución actual de Planta 1 de Industrias PARTMO S.A. como a la estrategia de planeación y ejecución de los procesos. Por una parte, los contraflujos de las partes procesadas, son evidentes debido a la disposición física de los centros de trabajo; y por otra parte, la excesiva acumulación de producto terminado y de producto en proceso, es consecuencia de planear la producción

empleando grandes tamaños de lote que justifiquen tiempo de preparación y alistamiento de máquinas de cada referencia.

Esta situación, sumada a los incumplimientos a los clientes en determinadas referencias llevaron a la gerencia a tomar la decisión de desarrollar un plan que permita conocer realmente los tiempos requeridos en cada operación, la capacidad instalada y desarrollar una redistribución de la planta para obtener un proceso en línea que disminuya tiempos y costos asociados al transporte.

#### 1.1.3. Limitaciones del estudio

- Limitación de espacio: Las propuestas de redistribución deben adaptarse a las dimensiones y particularidades de la actual planta así como a todas aquellas restricciones físicas cuyo costo de trasladar implicara esfuerzos económicos excesivos para la administración.
- Limitación de información: En diversas etapas del proyecto, la falta de información histórica sistematizada necesaria retrasó el avance del trabajo, así como el resguardo de información clasificada por cuestiones de confidencialidad.
- Limitación de recursos: El desarrollo continuo de la investigación se afectó repetitivamente por la falta de computadores libres.
- Limitación por resistencia al cambio: El conocimiento empírico logrado gracias a las situaciones experimentadas en años de trabajo en la empresa, y el respaldo de un pasado fructuoso de la misma, hacen que trabajadores antiguos se resistan a propuestas de cambio que podrían dar solución a diversos problemas que se presentan repetitivamente.

1.1.4. Alcance. El alcance de este proyecto va desde el análisis y determinación de las referencias vitales para, basándose en un estudio de tiempos por cronómetro, determinar la capacidad instalada de la planta y los recursos cuello de botella y de capacidad restrictiva del sistema. Incluye la presentación de

propuestas de redistribución de planta, usando escenarios de simulación para determinar los beneficios posibles de las propuestas.

#### 1.1.5. Objetivos

##### 1.1.5.1. Objetivo General

Realizar un análisis de capacidad de Planta 1 de Industrias PARTMO S.A., basado en un estudio de tiempos por cronómetro, y desarrollar propuestas de redistribución de planta.

##### 1.1.5.2. Objetivos Específicos

- Definir las referencias vitales para planta 1 con base en datos históricos de los pedidos realizados por los clientes.
- Caracterizar el proceso productivo mediante la realización de diagramas de proceso y de recorrido.
- Realizar el plano de planta 1 de Industrias Partmo S.A. incluyendo la disposición actual de las máquinas.
- Determinar los tiempos requeridos por operación, a partir de un estudio de tiempos por cronómetro.
- Caracterización de los tiempos de operación como variables aleatorias a partir de pruebas de bondad y ajuste.
- Calcular la capacidad instalada de la planta y validarla a partir del modelo simulado.
- Evaluar el impacto de modificaciones en los recursos instalados a partir de escenarios de simulación.
- Desarrollar propuestas de redistribución de la planta y evaluar los beneficios obtenidos de cada una por medio de las herramientas de simulación del software PROMODEL.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA

### 2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Filtros Partmo es una empresa dedicada a la elaboración de Filtros para el sector automotriz, especializada en la protección para los equipos Diesel, sector en el cual ejerce su liderazgo. Fundada el 6 de diciembre 1962 en la ciudad de Bogotá, con 46 años durante los cuales ha podido consolidar su experiencia y presencia, así como distinguirse por ofrecer al mercado nacional e internacional la más amplia gama de filtros para el sector automotriz.

### 2.2. OBJETO SOCIAL

El objeto social de INDUSTRIAS PARTMO S.A. es la fabricación y comercialización nacional e internacional de toda clase de filtros para automotores, maquinaria y equipo industrial, y la comercialización nacional o internacional de toda clase de materia prima e insumos requeridos para la fabricación de filtros para automotores, maquinaria y equipo industrial.

### 2.3. MISIÓN<sup>1</sup>

Satisfacer las necesidades y deseos de nuestros clientes en el campo de la filtración y productos afines, manteniendo un clima organizacional que permita disfrutar a nuestros colaboradores de un trabajo por el constante crecimiento de todos, para el logro de los objetivos personales y empresariales; continuaremos representando con orgullo a la industria santandereana a nivel nacional e internacional.

### 2.4. VISIÓN<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> *Manual Integrado de Gestión de la Calidad. Industrias PARTMO S.A. Presentación de la empresa.*

<sup>2</sup> *Ibíd.*

INDUSTRIAS PARTMO S.A. dirigirá durante los próximos cinco años sus esfuerzos hacia el cambio de pensamientos, buscando la diversificación, integración y alianzas estratégicas en la fabricación y/o comercialización nacional e internacional, convirtiéndose en líderes del servicio de filtración y/o distribución de productos afines, en correspondencia con la dinamización de una cultura de mejoramiento y grupal de quienes la integran.

## 2.5. NÚMERO DE EMPLEADOS

La empresa en total cuenta con 380 empleados, de los cuales 164 trabajan en planta 1 distribuidos de la siguiente forma:

*Tabla 1. Número de empleados de planta 1*

Área	Número de empleados
Producción	110
Inventarios	10
Técnicos	14
Oficina	30
<b>TOTAL</b>	<b>164</b>

*Fuente. Autores*

## 2.6. CATÁLOGO DE PRODUCTOS

*Ilustración 1. Productos Filtros Partmo*



*Fuente. Departamento de mercadeo y ventas de Industrias Partmo*

Industrias Partmo S.A. tiene en su catálogo 3078 referencias de las cuales mensualmente se están produciendo cerca de 200 entre filtros para aceite, aire, gasolina, combustible y agua. Para ello tiene establecidas ocho líneas de producción:

- Sellado: Aceite, Combustible y Agua.
- Malla: Aceite y Combustible
- Aire Liviano
- Aire Pesado
- PMX: Aceite
- CAV: Combustible
- Gasolina PFG
- Ecológicos: Aceite y Combustible

El catálogo de productos cuenta también con maquinaria industrial, donde se destaca la maquinaria utilizada en la fabricación de filtros automotrices y Ventiladores Domésticos e Industriales KING WANG. La empresa sólo se encarga de la comercialización de estos productos, no los fabrica.

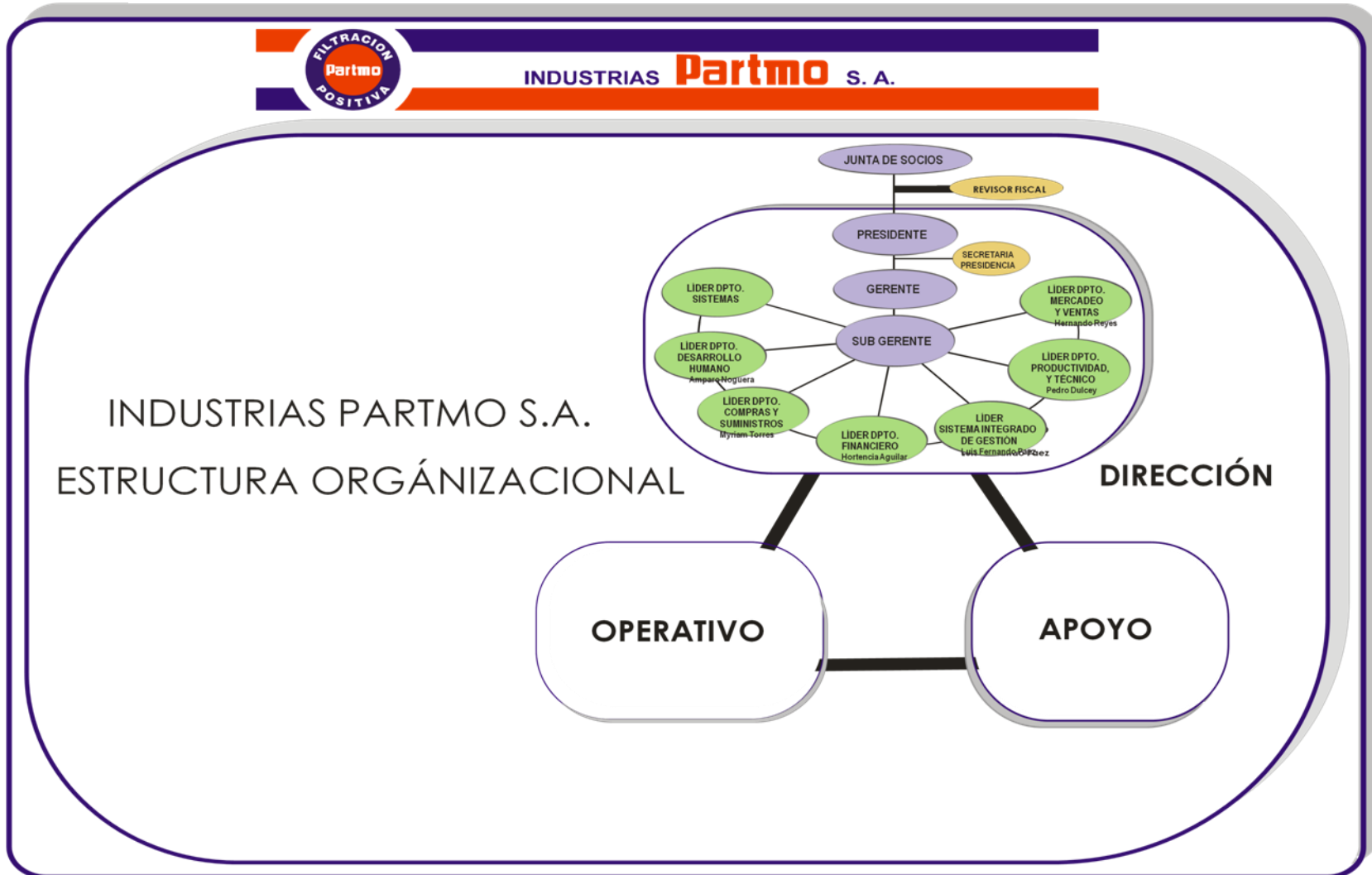
## 2.7. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La representación de la estructura organizacional de Industrias PARTMO S.A. se enseña en las ilustraciones No. 2, 3 y 4.

Se resalta el carácter horizontal de la estructura organizacional formada por tres grandes grupos:

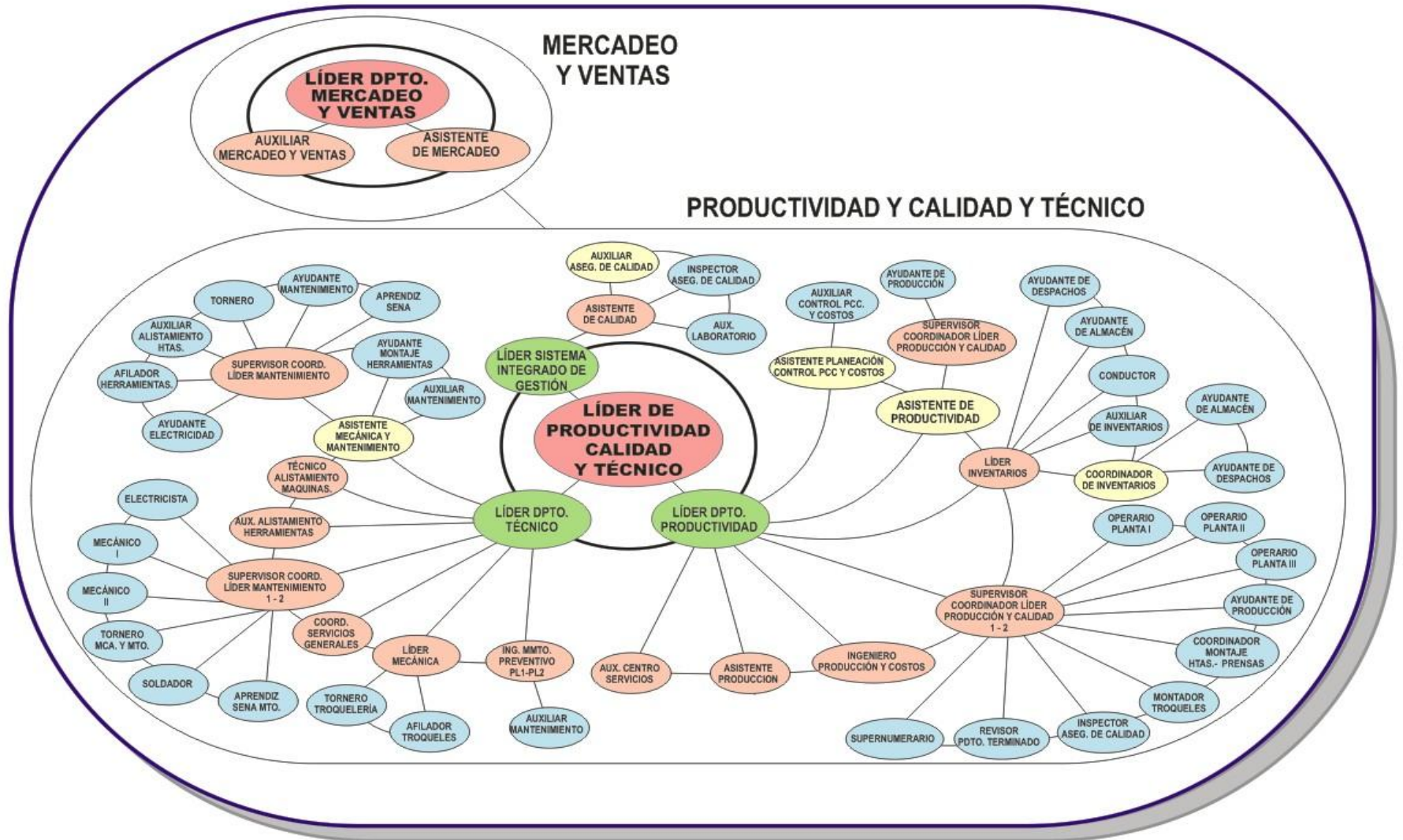
- Dirección
- Operativo
- Apoyo

Ilustración 2. Estructura Organizacional de Industrias PARTMO S.A.



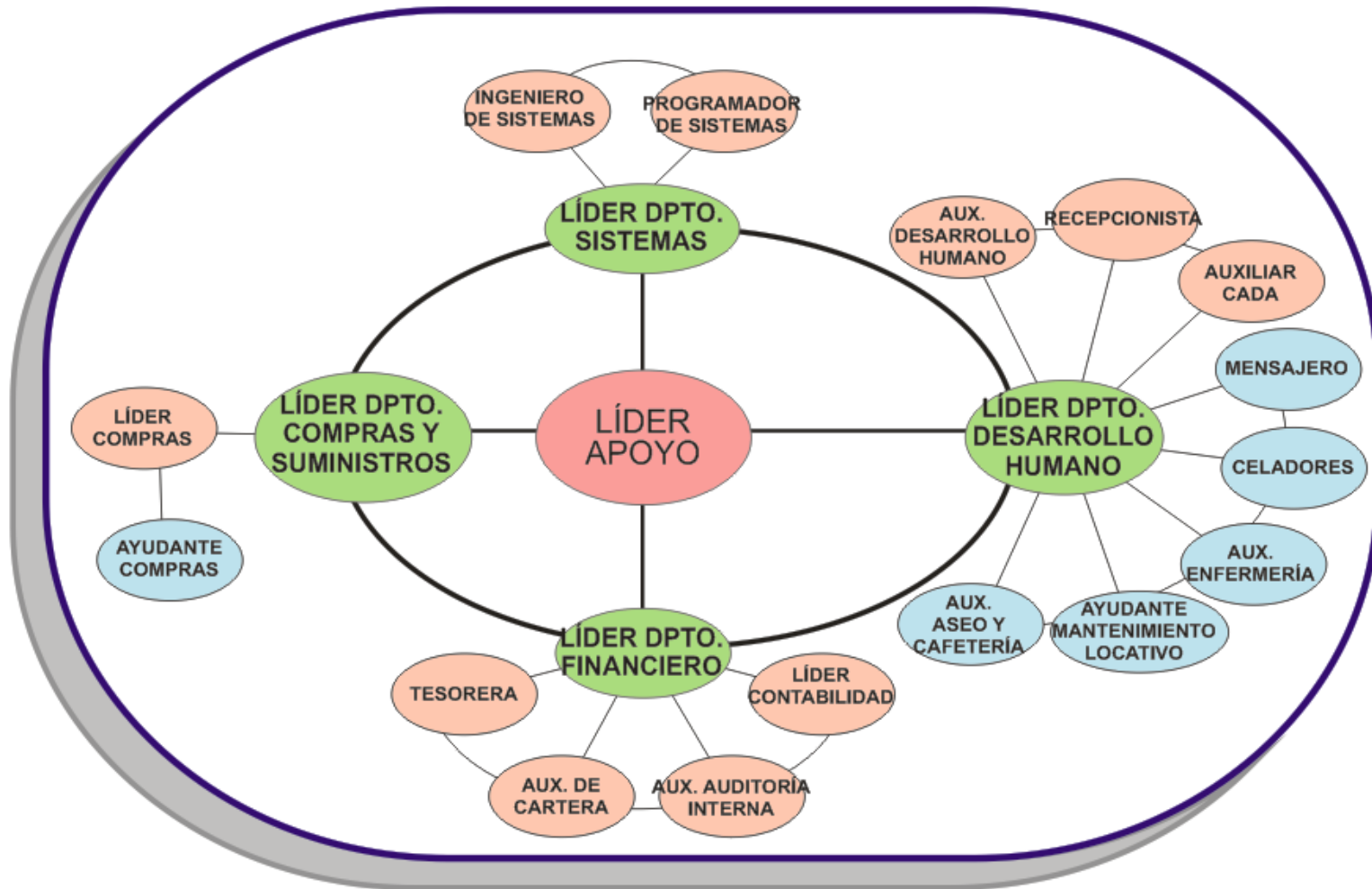
Fuente. Grupo Operativo de Industrias Partmo S.A.

Ilustración 3. Estructura Organizacional Grupo Operativo de Industrias PARTMO S.A.



Fuente. Grupo Operativo de Industrias Partmo S.A.

Ilustración 3. Estructura Organizacional Grupo de Apoyo de Industrias PARTMO S.A.



Fuente. Grupo Operativo de Industrias Partmo S.A.

### 3. MARCO TEÓRICO

El entorno cada vez más exigente y voraz, hace que las empresas estén en continuo movimiento buscando, como mínimo, permanencia en el tiempo. Para lograrlo se tienen dos opciones: buscar nuevos mercados o fidelizar los clientes actuales.

Pero ¿cómo se logra esto?

Los clientes cada día son más exigentes y tienen múltiples opciones para satisfacer sus necesidades; por esto, si los principales requerimientos de los clientes son: oportunidad, cantidad y calidad; estos se deben proporcionar, por ejemplo ofreciendo tiempos de entrega menores cada día. A través de estas características se compete, y es la efectividad en su cumplimiento lo que garantiza estar por encima o por debajo de la competencia en participación en el mercado.

Mejorar la productividad consiste en aumentar el valor agregado para la empresa, entendiéndose por valor agregado “aquella parte de las ventas que corresponde al dinero generado por la propia empresa”<sup>3</sup>. Para mejorar, las empresas emplean una serie de herramientas para analizar sus procesos, empezando por definir el programa a seguir.

#### Programa para mejorar la productividad:

- a) Conocer los lineamientos de la empresa
- b) Realizar un diagnóstico de las condiciones de la planta resaltando las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas.
- c) Tomar cada una de las debilidades y determinar cuál es la más crítica.
- d) Indagar por las causas de las debilidades y de las amenazas y cómo se pueden aprovechar las fortalezas y las oportunidades.

---

<sup>3</sup> ORTIZ, Néstor Raúl. Análisis y Mejoramiento de los procesos de la empresa, 1999. Pág. 175.

- e) Fijarse metas a corto, mediano y largo plazo.
- f) Desarrollar planes concretos para alcanzar las metas propuestas
- g) Ejecutar los planes
- h) Medir y analizar resultados.

Para realizar este programa se debe hacer un análisis desde dos enfoques:

i. LA TEORÍA JUSTO A TIEMPO:

“Incluye una serie integral de actividades que pretende alcanzar una producción de gran volumen, empleando inventarios mínimos de materias primas, producto en proceso y bienes terminados”<sup>4</sup>. Según esta teoría la producción se lleva a cabo jalonada por el cliente, sólo se produce lo que es demandado por el mismo, aplicando esto tanto para clientes externos como para clientes internos.

Las filosofías pilares del JIT son:

- Eliminación de despilfarros: Entendiéndose desperdicio, según la definición de Toyota, “todo lo que sea distinto de la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y tiempo laboral absolutamente esenciales para la producción“, es decir lo que le agrega valor al producto.

Existen dos clasificaciones:

- 5MQ: Personas, máquinas, material, dirección, métodos, seguridad.

---

<sup>4</sup> CHASE, Richar; JACOBS , Robert y AQUILANO, Nichikas. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª edición. 476 p.

- Siete tipos de despilfarro: Relacionados con transporte, contenido de las operaciones del proceso, proceso (diseño u organización) sobreproducción, inventario, tiempos en vacío, productos defectuosos.

Una vez identificados se deben emplear las siguientes estrategias para eliminar los despilfarros:

- Redes de fábricas enfocadas:
- Grupos de Tecnologías
- Calidad en la fuente:
- Heijunka
- Sistemas de control con kanbanes
- Reducción de los tiempos de preparación de máquinas al mínimo

Identificar los despilfarros junto con la organización de la planta por medio de la técnica de Cinco Eses (clasificación, orden, limpieza, estado de limpieza y disciplina), que también hace parte de JIT, son el primer paso para realizar el diagnóstico, teniendo en cuenta todos los procesos que se llevan a cabo, tanto cuando se encuentran en funcionamiento las máquinas como cuando no es así. De la misma manera como se debe analizar la ubicación y recorridos tanto de operarios y máquinas como del producto en todo su proceso de transformación hasta que sale de la planta.

- Respeto a las personas: Los trabajadores son considerados un activo para la empresa que están en capacidad de generar mejoras a los procesos que realiza. Se usan los siguientes conceptos:

- La administración de la base a todo alrededor, donde las decisiones se toman por consenso.

o Círculos de calidad (grupos pequeños conformados por empleados de un área o multidisciplinarios que se reúnen periódicamente para buscar soluciones a los problemas que se presenten.

ii. TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC):

Según Eliyahu Goldratt (2005)<sup>5</sup> la Meta de toda empresa es ganar dinero, es decir que una empresa debe buscar indicadores de desempeño que permitan establecer reglas operativas a favor de este objetivo. Estos indicadores se dividen en dos categorías:

- Financieros: Utilidad neta, rendimiento por inversión, liquidez.
- Operacionales: Throughput, inventarios y gastos de operación.

Estos indicadores deben mejorarse simultáneamente. En el caso de los indicadores operacionales se debe aumentar el throughput mientras se disminuyen inventarios y gastos de operación; para lograrlo, por medio de la correcta programación de la producción, se deben cumplir nueve reglas:

- a) No equilibre la capacidad, equilibre el flujo.
- b) El nivel de utilización de un recurso que no es cuello de botella no está determinando por su propio potencial, sino por algún otro problema del sistema.
- c) Activar un recurso y utilizar un recurso no son sinónimos.
- d) Una hora perdida en un cuello de botella, es una hora perdida en todo el sistema.
- e) Una hora ahorrada en un no cuello de botella es un espejismo.
- f) Los cuellos de botella rigen el rendimiento y los inventarios del sistema.
- g) El lote que se procesa podría no ser igual al que se transfiere, y en ocasiones, no debe serlo.

---

<sup>5</sup> GOLDRATT, Eliyahu. La Meta: Un proceso de mejora continua. 2 ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2005.

- h) Un lote de proceso debe ser variable en su ruta y también es su tiempo.
- i) Sólo se pueden establecer prioridades si se analizan las restricciones del sistema. El tiempo de espera se deriva del programa.

Según las nueve reglas quien determina el flujo del producto es el cuello de botella, a quien se denomina *tambor*. Sobre él se deben centrar las acciones de mejora, esta es la base de la TOC, que consta de los siguientes pasos:

- Identificar las restricciones del sistema.
- Decidir como explotarlas. (Aprovechar al máximo la capacidad de ese recurso)
- Subordinar todo lo demás a esa decisión.
- Elevar las restricciones del sistema. (Aumentar la capacidad del recurso)
- Si en alguno de los pasos anteriores las restricciones han sido superadas, volver al paso 1, pero sin permitir que la inercia se convierta en una restricción del sistema.

**Para aplicar el análisis se debe tener en cuenta que:**

- El principio de Pareto aplicado a la dirección de operaciones permite trabajar solamente con aproximadamente el 20 % de las referencias de los productos, ya que estas representan el 80% de la Producción, porcentaje con el cual es viable realizar el análisis.
- Se hace necesario determinar el tiempo de ciclo para poder determinar la capacidad. Los tiempos deben ser tomados de acuerdo a los lineamientos estadísticos para la toma de muestras representativas y su análisis debe hacerse desde dos enfoques:

- a) Tiempos Determinísticos: Por medio del cronómetro se determina el tiempo de cada elemento (“parte de la tarea que dura poco tiempo, está compuesto de uno

o varios movimientos del operario o máquina”<sup>6</sup>), a este se le da una valoración según la rapidez con la que se realiza la labor tomando como referencia el tiempo empleado por un operario promedio (no es el más experto ni el más inexperto). Posteriormente se calcula el tiempo promedio por elemento (normalizado) al cual se le asignan suplementos según las condiciones en que se realiza la labor. Una vez se tenga ese tiempo (asignado) se totalizan los tiempos de todos los elementos y se adiciona un porcentaje de contingencia sobre la jornada de trabajo, obteniéndose así el tiempo tipo para el ciclo de trabajo.

b) Tiempos Probabilísticos: Para simular el funcionamiento de la planta en PROMODEL y poder hacer análisis respecto a los procesos, no se puede desconocer que los tiempos con los que se realizan las actividades presentan fluctuaciones estadísticas y que estas actividades son eventos dependientes (TOC). Si se toma para el análisis el enfoque anterior (tiempos determinísticos), se estarían desechando tiempos que influyen directamente en las salidas del proceso, llegando a consideraciones no muy ajustadas a la realidad. Es por ello que, por medio de la muestra de tiempos tomada con cronómetro, es conveniente conocer la distribución de probabilidades que determina la ocurrencia de los eventos y de esta manera poder obtener un modelo que funcione lo más cercano a la realidad posible y que permita generar resultados reales de mejora.

## ➤ **DISTRIBUCIÓN EN PLANTA**

“Estudios realizados a empresas cuya distribución en planta fue diseñada para un momento inicial pero que con el tiempo fueron creciendo y añadiendo capacidad y cambios al proceso sin el debido análisis para su ubicación, arrojan que es conveniente redistribuir las instalaciones para buscar un mejor funcionamiento físico del proceso. Cuando esto ocurre, se hace necesario definir los elementos a

---

<sup>6</sup> ORTIZ, Néstor Raúl. Análisis y Mejoramiento de los procesos de la empresa. 1 ed. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 1999. 144 p.

tener en cuenta y el procedimiento a seguir para lograr el mejor resultado para la empresa, teniendo en cuenta el uso de una herramienta informática para la obtención y posible análisis de resultados”<sup>7</sup>.

### ❖ Tipos De Distribución En Planta

El primer paso para planear una redistribución de planta es identificar la forma de organización del proceso productivo, esta característica determina la fluidez del producto, y centrar el análisis en el tipo de distribución compatible con la empresa.

i. Distribución de planta orientada al proceso: Tipo de distribución en la que los recursos se agrupan según la función que realizan. Para desarrollarla se presentan los siguientes métodos

- *Técnicas de Distribución Computarizada (CRAFT)*: Consiste en hallar la distribución que minimice los costos de transporte y manejo de materiales entre los departamentos según su ubicación relativa.
- *Planeación Sistemática de la Distribución (SLP)*: En la mayoría de situaciones no se tiene el costo de la distancia entre departamentos, por lo que esta técnica es la más usada. Consiste en determinar las relaciones de proximidad existentes entre los diferentes departamentos, por medio de diagramas de relaciones y asignación de pesos numéricos a las preferencias más cercanas, para intentar diferentes distribuciones y elegir la del peso total mayor.

ii. Distribución de planta orientada al producto: Tipo de distribución en la que los equipos están dispuestos según la secuencia que se sigue en la fabricación del producto. El objetivo es equilibrar la cadena, de tal manera que se tenga el número de estaciones de trabajo necesarias para cumplir con la demanda, sin llegar a crear un recurso cuello de botella. Para ésto se descompone el trabajo

---

<sup>7</sup> CHASE, Richar; JACOBS , Robert y AQUILANO, Nichikas. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª edición.

en tareas o actividades que puedan desarrollarse de manera independiente y se definen las actividades precedentes de cada una. Posteriormente se asignan las actividades a cada centro de trabajo (seleccionando un criterio para esta asignación y para romper los empates) de tal forma que se cumpla la restricción del tiempo de ciclo. Finalmente, se analiza la eficiencia lograda, si esta no es satisfactoria se debe realizar nuevamente el análisis.

- iii. Distribución de planta por posición fija: Éste tipo de distribución se presenta cuando el producto permanece en un solo lugar y son los recursos los que se movilizan hacia él.

El costo de manejo de materiales constituye el factor relevante al momento de planear este tipo de distribución. El análisis se debe hacer en torno al grado de utilización de los materiales, el orden tecnológico de las operaciones y la programación de actividades. La forma de distribución más usada es disponer el material y las herramientas generando círculos concéntricos alrededor del punto de producción, de tal manera que los que presenten mayor frecuencia de uso se ubiquen en el círculo más interno.

En la mayoría de las empresas los procesos productivos presentan distribuciones híbridas, definidas como la combinación de algunas de las distribuciones anteriores, la más aplicada se conoce como distribución por células de trabajo.

- iv. Distribución por Células de Trabajo o Grupo de Tecnologías: Es la combinación de la distribución por producto y por proceso, con el fin de aprovechar la eficiencia de las primeras y la flexibilidad de las segundas. Consiste agrupar las referencias vitales (obtenidas aplicando el principio de Pareto) en familias de productos, es decir que se agrupan maquinaria y trabajadores para cada familia

de referencias. Para agrupar las referencias en familias se deben tener en cuenta la similitud de las siguientes características:

- La secuencia de las operaciones.
- Los materiales usados.
- Los recursos utilizados.
- Los tiempos de operación (Unimodalidad).

El método usado para realizar este tipo de distribución es una combinación los métodos empleados para resolver las distribuciones que le dieron origen, sumando la realización de una diagrama multiproducto (estable la secuencia de las operaciones para todas las referencias). El método iniciaría con el cálculo del número de estaciones necesarias, posteriormente se determina el flujo de producto (diagrama multiproducto), para una vez establecidas las relaciones de proximidad entre los elementos se modifique el diagrama multiproducto de acuerdo a la cantidad de recursos hallado, buscando que el proceso resulte lo más fluido posible.

## ➤ **SIMULACIÓN**

Nadie sabe con certeza cuando el primer modelo de simulación fue desarrollado, pero el principio de usar representaciones simbólicas para un mejor entendimiento de las interacciones de varias partes de un sistema es probablemente tan viejo como el método científico<sup>8</sup>.

- ¿Por qué simular?

“La simulación es una manera de validar si se están tomando las mejores decisiones. El poder de la simulación radica en el hecho de que provee en método

---

<sup>8</sup> HARREL, Bateman and GOGG, Mott. System Improvement using simulation.

de análisis que no sólo es formal y predictivo, sino que también es capaz de predecir certeramente el desempeño de los sistemas más complejos<sup>9</sup>.

Según Royce Bowden y Charles Harrell<sup>10</sup>, las características que hacen de la simulación una herramienta de planificación y toma de decisiones tan poderosa, se listan a continuación:

- Tiene en cuenta las interdependencias del sistema.
  - Involucra la variabilidad del sistema.
  - Es lo suficientemente versátil para simular cualquier sistema.
  - Muestra el comportamiento en el tiempo.
  - Es menos costosa, consume menos tiempo y es menos disruptiva que la experimentación directa en el sistema real.
  - Provee información de múltiples medidas de desempeño.
  - Es visualmente atractiva y atrae la atención de la gente.
  - Genera resultados que son fáciles de entender y comunicar.
  - Corre en tiempo real, acelerado e incluso en tiempo retardado.
  - Hace que se preste más atención a los detalles durante el diseño del modelo.
- Haciendo simulación: “Hacer simulación se refiere al proceso de diseñar un modelo y de experimentar con él. Realizar experimentos en el modelo reduce el tiempo, costo y las interrupciones que ocurren al experimentar en el sistema real”<sup>11</sup>.

La simulación se lleva a cabo como parte de un proceso de diseño o mejoramiento de sistemas más grande, y se hace presente durante la fase de evaluación del mismo.

---

<sup>9</sup> Íbid.

<sup>10</sup> Íbid.

<sup>11</sup> Íbid.

En esencia la simulación es una herramienta en la cual un modelo computacional, de un sistema nuevo o preexistente, es creado con el fin de llevar a cabo experimentos. El conocimiento adquirido de la experimentación con el modelo se transmite al sistema real.

El proceso de hacer simulación sigue el método científico. Los pasos son:

- Formular una hipótesis
- Preparar un experimento
- Probar la hipótesis a través de la experimentación.
- Sacar conclusiones sobre la validez de la hipótesis

- Justificación económica de la simulación:

La simulación no debe ser usada si el costo excede los beneficios esperados. Generalmente, el uso de la simulación se rechaza prematuramente, debido al fallo al reconocer los beneficios y ahorros que trae consigo. Aunque las inversiones iniciales de la simulación pueden llegar a ser elevadas (entre 1000 y 20000 dólares), si se mira esta inversión desde una perspectiva del largo plazo, la simulación ahorra mucho más dinero del que cuesta.

Los ahorros de la simulación ocurren cuando:

- Se identifican y eliminan problemas e ineficiencias durante el proceso de diseño del modelo
- Se reducen elementos de diseño sobrantes y factores de seguridad excesivos.
- Se identifica y eliminan inversiones de capital innecesarias
- Se descubren y eliminan ineficiencias operativas

➤ **Promodel<sup>12</sup>**

Es una herramienta de simulación que permite diseñar modelos dinámicos de procesos de manufactura involucrando los recursos utilizados y los eventos e interacciones que se presentan típicamente en este tipo de procesos. Está basado en una interface gráfica y en un proceso de animación que hacen sencilla la labor de modelado y ejecución de los modelos, y además permite personalizar el tiempo de ejecución de la simulación comprimiendo el tiempo real del proceso.

En ProModel, todo se ajusta al paradigma de Estaciones, Entidades. Procesamiento, Llegadas y Recursos. Cualquier sistema de manufactura, logística y servicio puede ser modelado utilizando este paradigma.

-Estaciones: Representan lugares fijos en el sistema. Las entidades son llevadas a estas estaciones para el procesamiento, almacenamiento, cualquier tipo de actividad o toma de decisiones.

-Entidades: Cualquier cosa que el modelo procesa es llamada entidad. Este puede ser el caso de piezas que se procesan, productos que se mueven a través de los procesos, personas o incluso documentos como órdenes de trabajo etc.

-Procesamiento: El procesamiento describe las operaciones que tienen lugar en cada una de las estaciones, como la cantidad de tiempo que una entidad gasta en un puesto de trabajo, los recursos que se necesitan para realizar el proceso, y en general cualquier evento que ocurra o suceda en la estación, incluyendo la elección del siguiente destino de la entidad.

-Llegadas: Cada vez que una nueva entidad es introducida en el sistema, se le conoce como llegada.

---

<sup>12</sup> GARAVITO HERNÁNDEZ, Edwin. La Simulación como herramienta para la toma de decisiones y Promodel como herramienta de simulación. Primera edición. Santander, Bucaramanga, 1997.

## **4. DIAGNÓSTICO DEL GRUPO OPERATIVO**

### **4.1. PREDIAGNÓSTICO**

Los 46 años de presencia en el mercado demuestran que Industrias PARTMO S.A. ha realizado un continuo esfuerzo para adaptarse a las exigencias de un mercado que cada día es más competitivo y por ende, exigente.

El mercado actual, está caracterizado por la entrada creciente de empresas extranjeras al mercado nacional, cada una de ellas con una estrategia definida y captada por los consumidores: la economía caracteriza a los filtros chinos y la calidad caracteriza a los filtros norteamericanos, quienes son los principales competidores.

Industrias PARTMO, compete en el mercado con una estrategia combinada de precios bajos, variedad de productos y calidad en los mismos, por esta razón es ineludible la necesidad de disminuir los costos de producción, siendo la reducción de transportes de materiales en planta, una de las alternativas seleccionadas por la gerencia.

La planta de producción actualmente está distribuida por procesos, exceptuando algunas máquinas que no se ubicaron estratégicamente, sino que fueron acomodadas en espacios vacíos al momento de adquirirlas. Esto ha generado que el producto no siga una ruta continua, presentándose retrocesos y transportes excesivos. Al mismo tiempo ha llevado a un desconocimiento de la capacidad de la planta, originando procesos muy rígidos incapaces de adaptarse a los cambios del mercado, haciéndose necesario emplear gran cantidad de inventarios de producto terminado para salvaguardar los posibles pedidos.

Teniendo en cuenta que existen partes estándar para diversos grupos de referencias, los altos tiempos de preparación y alistamiento de las máquinas

ocasionan la producción y acumulación de piezas que exceden las necesarias para cumplir la cantidad de producto terminado de la referencia en curso, requerida.

#### 4.2. SELECCIÓN DE REFERENCIAS VITALES

Industrias Partmo S.A. cuenta con un catálogo de productos que conforman más de mil referencias producidas sólo en planta-1; por lo tanto es imprescindible realizar un análisis basado en la regla 20/80, que se interpretaría en este caso como la priorización del 20% de las referencias que abarcan la mayoría (del 80% al 90%) de la demanda total de las referencias para planta-1. El diagrama de Pareto se encuentra ilustrado en el Anexo 2.

El análisis se realizó con datos históricos de los pedidos realizados por los clientes de los años 2006, 2007 y de Enero a Septiembre de 2008 (Véase el Anexo 2). Es importante resaltar que se seleccionaron como datos de entrada los pedidos de los clientes, porque se debe tener en cuenta tanto los pedidos satisfechos (ventas efectivas) como los pedidos insatisfechos (ventas perdidas) ya que de la suma de estos dos rubros se obtiene la demanda real de las referencias.

Por otra parte, también se consideraron aquellas referencias que aunque en el momento no tienen una demanda significativa como para quedar dentro del análisis Pareto, tienen una expectativa de crecimiento alta. El grupo operativo suministró la información para la consideración de estas referencias, no obstante, el estudio de la clasificación de las referencias en las cuatro divisiones de la Matriz Boston no es ilustrada en el proyecto por política de confidencialidad de la empresa.

En conclusión, las referencias relevantes y de crecimiento consideradas para el análisis de capacidad y redistribución en planta son expuestas a continuación

según orden descendente de importancia (porcentaje de participación con respecto a la demanda total):

Tabla 11. Referencias relevantes y de crecimiento

REFERENCIAS RELEVANTES				REFERENCIAS DE CRECIMIENTO	
1	A-1	29	AD-7029	58	A-28NK
2	A-23	30	A-1R0751	59	A-495
3	A-48	31	A-408	60	A-570D
4	AD-7041	32	GO-1	61	A-670C
5	A-4044	33	AD-142	62	A-7018
6	A-67	34	A-4049	63	A-777C
7	A-9003	35	A-9N5570	64	A-777SP
8	A-23A	36	A-3786	65	AD-1403
9	A-588	37	A-4048	66	AD-7041SP
10	A-20	38	A-1345	67	AD-7166
11	AW-2010	39	ECOF-1810	68	AD-9001
12	AD-4271	40	A-84	69	AS-1007
13	A-23L/39	41	A-54	70	AS-1282
14	A-28	42	A-840	71	AS-1441
15	A-116	43	A-97	72	AS-3202SP
16	A-777	44	A-30	73	AS-4654
17	A-1212	45	A-7533	74	AS-7015
18	A-11	46	A-96	75	AS-R45
19	AD-092	47	A-31	76	AW-2127
20	A-105	48	A-8	77	A-1259
21	A-1C	49	GO-13	88	A-116C
22	A-22	50	AR-17	89	A-1RD
23	A-K570	51	A-43	80	A-343
24	AD-2700	52	A-4731		
25	A-339	53	AD-232		
26	A-5813	54	A-309		
27	AD-3000	55	ECOF-1675		
28	A-4052	56	AD-7105		
		57	A-70015		

Fuente: Autores.

### 4.3. RECONOCIMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO

4.3.1. Levantamiento del plano de la planta. El plano de la planta productiva de Industrias Partmo S.A. (Véase el Anexo 4) se realizó tomando las medidas del contorno y de las máquinas, así como la acomodación de la disposición actual. El Anexo 3 muestra una lista de las máquinas existentes en planta-1 y los códigos asignados a cada una de ellas; códigos que son utilizados como nomenclatura tanto en el plano de la planta, como en diversas partes del presente libro. Se resalta que el plano fue elaborado y rotulado de acuerdo a la norma DIN 824 y 476.

4.3.2. Realización del diagrama de operación. De acuerdo al Anexo 5, se puede resumir en la siguiente tabla el número de operaciones e inspecciones necesarias para desarrollar el proceso productivo.

Tabla 3. Resumen de actividades del diagrama de operaciones.

<b>RESUMEN : DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>					
<b>DIAGRAMA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>COMIENZA EN</b>	<b>TERMINA EN</b>	<b>RESUMEN DE ACTIVIDADES</b>	
				<b>OPERACIONES</b>	<b>INSPECCIONES</b>
1	Tarro	Bodega de Materia Prima	Bodega de tarros	55	3
2	Elemento Filtrante	Bodega de Materia Prima	Bodega de Elementos	23	0
3	Aro-Disco	Bodega de Materia Prima	Bodega de Partes	9	1
4	Ensamble y Empaque	Bodega de Materia Prima	Bodega de Producto terminado	17	2
<b>TOTAL</b>				<b>104</b>	<b>6</b>

Fuente: Autores.

4.3.3. Realización del diagrama de recorrido. Debido a la existencia de varias máquinas que pueden realizar una misma operación, la distancia que recorren las referencias en la secuenciación de las operaciones cambia de acuerdo a la máquina asignada por planeación (situación que ocurre sólo en la producción de partes, ya que en ensamble todas las referencias siguen el mismo recorrido); por ende, en el Anexo 7 se muestra el promedio de las distancias para cada proceso y la distancia total recorrida de cada referencia de acuerdo a las particularidades de las mismas; las referencias se encuentran separadas en grupos de acuerdo a las características variables entre las referencias a saber: válvula de alivio, refuerzo, tarro desfondado o con racor, disco avellanado, aro sin pestañar. De acuerdo a lo anterior, si una referencia tiene válvula de alivio, recorre más distancia que otra que no la tenga (siempre y cuando tengan igualdad en las demás características). Se resalta que las distancias de cada proceso fueron calculadas desde que el material sale de la bodega de materia prima, hasta que la parte se encuentra en la bodega de producto en proceso, y la distancia de ensamble se calculó desde la salida de todas las partes de la bodega de producto en proceso, hasta la zona de embalaje del filtro.

El Anexo 6, pretende ilustrar gráficamente el recorrido de todos los procesos así como también el diagrama de recorrido de la línea de ensamble, diagramas que fueron elaborados y rotulados de acuerdo a la norma DIN 824 y 476.

La tabla 4 muestra un resumen de las distancias que recorren las referencias de acuerdo a las características de las mismas.

4.3.4. Descripción de operaciones. Una vez reconocida la secuenciación de operaciones en los diagramas presentados anteriormente, es importante que el lector conozca detalladamente qué es lo que realiza el operario y/o la máquina en

cada proceso; por ende, se elaboró una descripción de cada una de las operaciones realizadas en planta-1. (Véase el Anexo 8).

Tabla 12. Distancias recorridas

CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS					
Válvula de alivio	Tarro desfondado o Racor	Refuerzo	Aro pestañado	Disco Avellanado	DISTANCIA TOTAL (m)
NO	NO	NO	SI	NO	1047
SI	NO	NO	SI	NO	1092
SI	NO	NO	NO	NO	1047
NO	NO	NO	NO	NO	1003
NO	SI	NO	SI	NO	1084
NO	NO	NO	NO	SI	1067
SI	NO	NO	SI	SI	1111
NO	NO	SI	SI	SI	1176
SI	NO	SI	SI	SI	1221
NO	SI	NO	NO	NO	1040
NO	SI	NO	SI	SI	1128
SI	NO	SI	SI	NO	1201
<b>PROMEDIO</b>					<b>1101</b>

Fuente. Autores.

La descripción de las operaciones refiere cada operación realizada y el resultado de las mismas; descripción que pretende ubicar al lector en el contexto para que se familiarice con el proceso y pueda vislumbrar con mayor claridad todo lo que se intenta explicar en los posteriores capítulos. No obstante, es importante mostrar de forma gráfica el resultado de cada operación necesaria en el proceso. Se resalta que un filtro de sellado está compuesto por las siguientes partes:

- Tapa superior e inferior
- Tubo central
- Aro-disco (ensamble del aro y el disco)
- Tarro
- Papel plisado

- **TAPA SUPERIOR**

*Ilustración 5. Troquelado y punzonado de tapa superior.*



*Fuente. Autores*

- **TAPA INFERIOR**

*Ilustración 6. Troquelado de tapa inferior con válvula de alivio*



*Fuente. Autores.*

*Ilustración 7. Troquelado de tapa Inferior*



*Fuente. Autores.*

- **DISCO ROSCADO**

*Ilustración 8. Disco troquelado*



*Fuente. Autores.*

*Ilustración 9. Disco embutido-avellanado y roscado*



*Fuente. Autores.*

- **ARO**

*Ilustración 10. Aro troquelado y pestañado.*



*Fuente. Autores*

- **ARODISCO**

*Ilustración 11. Aro-disco ensamblado*



*Fuente. Autores.*

- **TUBO CENTRAL**

*Ilustración 12. Tubo central.*



*Fuente. Autores.*

- **TARRO**

*Ilustración 13. Tarro con draining*



*Fuente. Autores.*

*Ilustración 4. Tarro con facetado.*



*Fuente. Autores.*

Ilustración 15. Tarro con tuerca hexagonal



Fuente. Autores.

- **FILTRO ENAMBLADO CON CORTE LATERAL**

Ilustración 16. Corte de filtro dual ensamblado



Fuente. Autores.

Ilustración 17. Corte de filtro ensamblado.



Fuente. Autores.

4.3.5. Análisis de cinco “s’s” y despilfarros. Para diagnosticar el estado de orden y limpieza de la empresa y para reconocer los despilfarros presentados en la empresa, especialmente en la planta de producción, se aplicaron listas de chequeo, determinando previamente las preguntas pertinentes según la naturaleza

de la empresa y determinando una escala de valoración de acuerdo al cumplimiento (de 1 a 5, siendo 5 el más alto cumplimiento).

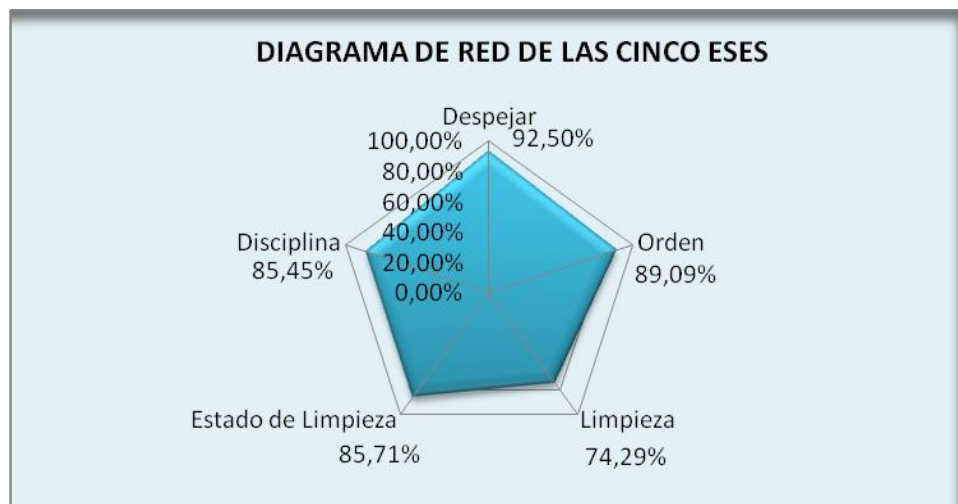
#### 4.3.5.1. Análisis de las cinco "s"

Tabla 13. Cumplimiento de cinco eses

	TOTAL	PUNTAJE OBTENIDO	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO
Despejar	40	37	92.50%
Orden	55	49	89.09%
Limpieza	35	26	74.29%
Estado de Limpieza	35	30	85.71%
Disciplina	55	47	85.45%
<b>Total</b>	<b>220</b>	<b>189</b>	<b>85.91%</b>

Fuente. Autores.

Ilustración 18. Diagrama de red cinco eses



Fuente. Autores.

En la ilustración 18, se observa gráficamente que el nivel de cumplimiento de todas las “s’s” es aceptable, siendo seiso (limpieza) la ese más crítica debido al uso obligatorio de grasas y aceites que impiden un estado idóneo de paredes y pisos.

Con el diagnóstico se puede concluir que en promedio la empresa cumple con un 85.91% las exigencias de cada ese; por lo tanto, la realización de planes de implementación de las mismas no conducirían a resultados significativos que mejoren la productividad de la empresa, y si representan grandes esfuerzos para toda la organización.

A continuación se detallan las observaciones para cada una de las eses, la valoración para cada una se presenta en el Anexo 9:

- Despejar (Seiri)

- Cada vez que se le asigna al operario un puesto de trabajo, se le suministra a éste los materiales estrictamente necesarios para realizar la labor.
- Cuando en el puesto de trabajo una máquina presenta problemas de funcionamiento, el operario debe acercarse al almacén de inventarios, donde se le suministrará la herramienta necesaria.
- Se encontraron pocos papeles de caramelos debajo de las máquinas; no obstante, el número de papeles encontrados es mínimo, con respecto a la magnitud de la planta.
- Los productos que por algún motivo son devueltos por el cliente o por control de calidad, se ubican en contenedores debidamente rotulados y son llevados a la zona de recuperación.
- Los materiales necesarios para la labor, se ubican en el puesto de trabajo, los demás se encuentran en el almacén de inventarios; sólo se observan herramientas en el piso cuando la máquina se encuentra en el proceso de reparación.

- El proceso productivo por su naturaleza requiere gran cantidad de grasas y aceites para su funcionamiento; es por ello que no sería rentable la limpieza constante de paredes, además el estado de las mismas es tolerable ya que no ejercen directa influencia sobre todos los operarios por ser la planta de producción un lugar amplio.

*Ilustración 19. Utensilios estrictamente necesarios*



*Fuente. Autores.*

- Ordenar (Seiton)

- El almacén de inventarios es el lugar donde se ubican todas las herramientas y materiales; allí los operarios deben extraer lo necesario cuando comience el turno o en caso de presentarse alguna eventualidad, y devolver todo al final del turno.
- Dentro del almacén se encuentran demarcados los lugares donde se ubican los tipos de materiales y herramientas con las especificaciones para diferenciarlos.
- En las bodegas de productos en proceso como la de tarros y la de elementos filtrantes, existen canastas o estibas ubicadas en lugares de difícil acceso, siendo obstruido este acceso por otras canastas o estibas ubicadas delante, esto hace que el producto se oxide y que permanezca en bodega por tiempo indefinido.

- En la planta se encuentran señalizados los puestos de trabajo, los extintores, el almacén, las rutas de evacuación, el laboratorio de metrología, etc., pero faltan algunas zonas de almacenamiento por señalizarse.
- En su mayoría, los contenedores de producto en proceso se encuentran rotulados con la referencia y fecha de producción.
- Se encuentran dos radios en la planta ubicados en áreas diferentes con el fin de aminorar la monotonía inherente a los trabajos repetitivos.
- Los operarios cuentan con casilleros para guardar ropa, uniformes e implementos de seguridad; elementos como guantes sólo se observan encima de las máquinas en los tiempos de descanso.
- Se encontraron vasos y botellas en los puestos de trabajo, esto es debido a que los operarios cuentan con un bebedor de agua al cual van a llenar las botellas y vasos para consumir agua periódicamente.

*Ilustración 20. Identificación de materiales en la bodega*



*Fuente. Autores*

*Ilustración 21. Casilleros de operarios*



*Fuente. Autores.*

Ilustración 22. Identificación de canastas de producto en proceso.



Ilustración 23. Demarcación de materiales en el almacén de inventarios.



Fuente. Autores.

- Limpieza (Seiso)

- El uso de aceites y grasas provoca manchas en las máquinas, tubos y paredes de la planta. En las máquinas que trabajan con gran cantidad de aceite, como las roscadoras, éste se ve regado en el piso.
- Las lámparas fluorescentes se encuentran en alto grado de suciedad, generada por la mezcla de polvo y grasa.

- A las boquillas de las máquinas se les realiza limpieza periódicamente, pero en el caso de que un operario al iniciar el turno no encuentre la boquilla limpia, éste genera una orden para que la limpieza se realice inmediatamente.

*Ilustración 24. Paredes sucias*



*Fuente. Autores*

*Ilustración 25. Aceite alrededor de una máquina*



*Fuente. Autores*

- Estado de Limpieza(Seiketsu)

- La preocupación de la gerencia por la salud ocupacional se ve reflejada en el adecuado uso de los uniformes e implementos de seguridad.
- En puntos estratégicos de la planta se encuentran ubicados ventiladores y lámparas. Los techos evitan los rayos solares, aunque presentan algunas goteras que afectan dos máquinas específicas.
- Industrias PARTMO cuenta con una cafetería, debidamente señalizada, donde los operarios y trabajadores pueden dirigirse al momento de tomar sus alimentos. Cabe destacar que en la empresa está prohibido fumar.
- Algunos uniformes se encuentran un poco sucios, esto se debe a la naturaleza del proceso, ya que los operarios tienen que manipular grasas, pegantes, entre otros productos que pueden ensuciar o manchar los uniformes. Cabe destacar el buen estado de los uniformes, gracias a la continua dotación de estos, y el estado de limpieza comparado con la exposición que tienen los operarios a estas sustancias (grasas y pegantes).

*Ilustración 26. Cafetería*



*Fuente. Autores.*

*Ilustración 27. Implementos de seguridad.*



*Fuente. Autores.*

*Ilustración 28. Primeros Auxilios. Fuente: Autores.*



*Fuente. Autores.*

- Disciplina (Shitsuke )

- La estructura organizacional de la empresa, permite la formación de grupos divididos según las diferentes áreas de producción denominados grupos naturales; éstos se reúnen periódicamente con el fin de evaluar y mejorar diversos aspectos, entre los cuales se encuentran: limpieza, orden y salud ocupacional.
- Los líderes de los grupos naturales realizan talleres para capacitar a los operarios según fechas establecidas, sin embargo, estas fechas se ven afectas por la no aprobación por parte de recursos humanos debido al incumplimiento de ciertos requisitos.
- Se tiene un estricto control de la entrada y salida de los operarios al turno de trabajo, por medio de la tarjeta reloj e inspección por parte de los celadores.
- Al iniciar un turno de trabajo existen algunas quejas por el estado en el que se encuentra el puesto de trabajo, esto se debe a que la limpieza no fue realizada por el operario del turno anterior.

4.3.5.2. Análisis de despilfarros. A continuación se describen las causas y recomendaciones para los despilfarros existentes en Industrias Partmo S.A., la valoración de éstos es presentada en el Anexo 10:

- **Despilfarros relacionados con las personas.**

Movimientos y traslados para traer o llevar herramientas o cosas (dentro del puesto de trabajo).

**Causas:**

- Olvido de algunas herramientas al momento de reparar o montar una máquina.

- Falta de herramientas que cumplan con las características para la operación que deben realizar.

***Recomendaciones:***

- Implementar listas de chequeo que eviten los olvidos en las herramientas.
- Mantener un control sobre el estado de las herramientas y planear la fabricación de estas de acuerdo al desgaste sufrido.

Desplazamientos del puesto de trabajo a otras áreas.

***Causas:***

- Transporte de materia prima desde las bodegas a las máquinas para iniciar la producción; transporte de producto en proceso terminada la operación en una máquina hacia siguiente operación (máquina que realiza dicha operación).
- Distribución en planta que ocasiona mayores distancias entre las máquinas a lo largo del flujo del producto, sea por retrocesos o por lejanía de las máquinas, aumentando así el tiempo de traslado de materiales a la siguiente estación de trabajo.
- Planeación de producción que genera el traslado del producto en proceso desde la bodega de almacenamiento a la máquina para iniciar la operación siguiente y/o desde la máquina que termina la operación hacia las bodegas de almacenamiento.

***Recomendaciones:***

- Redistribución en planta que disminuya o anule los retrocesos y que identifique la ubicación de las máquinas de tal manera que, por medio de un análisis de relaciones de proximidad, se obtenga (en cuanto a distancia) el menor camino a recorrer por el producto.
- Planeación de la producción en base al comportamiento de la demanda, produciéndose así lo que realmente necesita el cliente y evitando el almacenamiento de producto y por ende el respectivo transporte desde y hacia las bodegas de partes.

- **Despilfarros relacionados con las máquinas:**

Mantenimiento

**Causas:**

- Daños imprevistos en máquinas.
- Incorrecto mantenimiento preventivo.
- Desconocimiento de algunas características de las máquinas.

**Recomendaciones:**

- Llevar un historial de los daños e investigar las causas a fondo, para tener un mayor conocimiento de las máquinas y poder, a llegar a implementar un plan de mantenimiento predictivo, que aumente la confiabilidad de las máquinas.

Máquinas que casi no se utilizan

**Causas:**

- Implementación de nuevas tecnologías.

**Recomendaciones:**

- Este despilfarro se presenta solamente en una máquina, cuya nivel tecnológico impide el uso continuo de la misma; se debe analizar la posibilidad de venderla.

- **Despilfarros relacionados con el método**

Transporte del producto

**Causas:**

- Distribución en planta.
- Naturaleza del proceso productivo.

**Recomendaciones:**

- Realizar una redistribución de planta que minimice la distancia entre los centros de trabajo.

Inspección del producto

**Causas:**

- Características específicas del diseño y funcionamiento de las máquinas.

**Recomendaciones:**

- Adquirir tecnología avanzada en cuanto a maquinaria.

Almacenamiento del producto

**Causas:**

- Planeación de producción.
- Balanceo de línea.

**Recomendaciones:**

- Adquirir tecnología avanzada en cuanto a maquinaria.
- Planeación de la producción en base al comportamiento de la demanda, produciéndose así lo que realmente necesita el cliente y evitando el almacenamiento de producto.

Demora o espera del producto

**Causas:**

- Capacidad de las máquinas.
- Programación de las operaciones en las máquinas.

**Recomendaciones:**

- Realizar el análisis de la capacidad y elevar la restricción del sistema

## **Despilfarros relacionados con la administración**

### Gastos en comunicaciones internas

#### ***Causas:***

- Requisitos de norma ISO.

#### ***Recomendaciones:***

- Aunque la documentación exigida por la norma ISO aumenta el tiempo requerido para los procedimientos, ésta permite a la empresa ser competitiva.

## **Despilfarros relacionados con calidad**

### Supervisiones e Inspecciones

#### ***Causas:***

- Características de diseño y funcionamiento de las máquinas, que desencadenan fallas en las mismas.
- Cultura de la Sociedad.

#### ***Recomendaciones:***

- Adquirir tecnología avanzada
- Capacitar a los operarios en cuanto al funcionamiento de las máquinas y al compromiso que deben adquirir con el proceso, especialmente si se trabaja en un cuello de botella.

### Producción de defectuosos

#### ***Causas:***

- Características de diseño y funcionamiento de las máquinas, que desencadenan fallas en las mismas.
- Descuido de operarios.

**Recomendaciones:**

- Adquirir tecnología avanzada.
- Capacitar a los operarios en cuanto al funcionamiento de las máquinas y al compromiso que deben adquirir con el proceso, especialmente si se trabaja en un cuello de botella.

**Despilfarros relacionados con la seguridad:**

Accidentes

**Causas:**

- Naturaleza del proceso.

**Recomendaciones:**

- Las recomendaciones a este despilfarro son expuestas en los panoramas de riesgos elaborados para cada centro de trabajo (Véase el Anexo 13).

4.3.6. Panorama de riesgos. El panorama de riesgos fue elaborado para cada centro de trabajo siguiendo las escalas que se presentan en el Anexo 11 y en el Anexo 12. De acuerdo con lo anotado en el panorama de riesgos (Véase el Anexo 13), se concluye que los factores de riesgo prioritarios en planta-1 de Industrias Partmo son:

*Tabla 14. Riesgos Prioritarios en planta-1 de Industrias PARTMO S.A.*

	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	<b>EVALUACIÓN DEL GRADO DE PRIORIZACIÓN.</b>	
1.	FÍSICO/ Ruido	1000	ALTO
2.	ERGONÓMICO/ Carga Estática	1000	ALTO
3.	ERGONÓMICO/ Carga Dinámica	1000	ALTO

Tabla 6. (Continuación)

4.	MECÁNICO/ Prensas Hidráulicas	420	MEDIO
5.	QUÍMICO/ Aerosoles	420	MEDIO

Fuente. Autores

Los controles que se recomiendan para disminuir la probabilidad de ocurrencia del siniestro son sugeridos en los respectivos panoramas de riesgos (Anexo 13).

#### 4.4. DIAGNÓSTICO DEL GRUPO OPERATIVO

4.4.1. Planeación. El departamento de mercadeo realiza mensualmente un presupuesto de la cantidad de cada referencia necesaria para satisfacer la demanda, dicho presupuesto lo realiza con base en pedidos reales y en pronósticos obtenidos por regresión lineal, ajustando los mismos a criterios empíricos personales y a sugerencias del departamento de producción de cantidades mínimas necesarias que justifiquen los esfuerzos de puesta a punto de todos los procesos requeridos; lo que indica, por ejemplo, que si en la regresión lineal se obtuvo que para el mes de Enero de 2009 se debían producir 50 filtros de tipo A-134, dicha cantidad puede ser modificada a 200, a 300 o a 400, según indicaciones de producción. Este hecho, contribuye a que la empresa tenga inventario excesivo de producto terminado, ya que, para justificar rentabilidad, producción elabora filtros que no se están demandando, y que pueden pasar meses en la bodega hasta que el cliente los requiera, la situación es más grave de lo que parece, pues que se elaboren 100 filtros de más de una referencia, no es tan significativo, pero si se tiene en cuenta que Industrias Partmo sólo en planta-1 cuenta con un catálogo de productos de más de mil referencias, el escenario cobra relevancia. Cualquier lector indicaría que la solución al problema anterior, es lograr una disminución de tiempos de alistamiento que permita cambiar de referencia rápidamente. Sin embargo, lograrlo no es tan fácil como parece, pues requiere lograr un alineamiento y sinergia de esfuerzos entre departamentos, pero

éstos en su afán de cumplir eficiencias individuales, bloquean cualquier acción que el departamento técnico desee realizar para dicho fin. En este punto es necesario aclarar que el escenario en el que producción aumenta el número de filtros a producir es para aquellas referencias de pedidos exclusivos, o que muy poco se realizan; ya que las referencias vitales si tienen alta demanda que justifica la producción del número de filtros obtenidos por la regresión lineal.

Una vez producción tiene en sus manos el presupuesto mensual, empieza a planear las operaciones a realizar en cada máquina. Para entender la mecánica de esta planeación, es necesario conocer las partes generales de un filtro:

- Elemento filtrante: Conformado por:
  - Tapa superior
  - Tapa inferior
  - Papel plisado
  - Tubo central
- Aro
- Disco
- Tarro

Todos los filtros tienen estas partes, las diferencias de las especificaciones que forman las más de mil referencias son cambios en dimensiones y forma de troquelado. Es aquí donde se debe aclarar que existen partes genéricas que son exactamente iguales para varias referencias. En este sentido, el filtro de tipo GO-13 tiene el mismo tarro que el A-1, el mismo aro del A-11, el mismo disco del A-1, el mismo tubo central del A-54, el mismo papel plisado del A-1, las mismas tapas del A-23.

Es por ello, que planeación al ordenar la producción de una pieza genérica, incluye la cantidad requerida de la misma por todas las referencias que lleven la misma parte y que se encuentren en el presupuesto.

Esta característica particular, hace que la planta se vea afectada por cuantioso inventario de piezas que deben esperar la orden de producción que indique el ensamble y embalaje de las mismas.

4.4.2. Mantenimiento. La seguridad del funcionamiento de las máquinas en el momento necesario y con las características adecuadas es vital para cualquier sistema productivo. Este factor sumado a otros como la correcta planeación del uso de los recursos, permite garantizar el cumplimiento a los clientes, tanto en la fecha de entrega como en la cantidad pautada.

El departamento técnico es el encargado de velar por esta disponibilidad y el correcto estado de la maquinaria, para ello se requieren acciones de mantenimiento concretas, empezando por el mantenimiento preventivo y llegando hasta el predictivo. Para lograr un buen funcionamiento del sistema de producción, no basta con reparar la maquinaria al momento del fallo, sino que se requiere un conocimiento profundo de las máquinas, de sus partes y funcionamiento, de tal manera que pueda establecerse la mejor forma de operarla y se lleguen a generar planes de mantenimiento de la maquinaria que eviten grandes paradas de producción que ocasionan acumulación de productos antes de la máquina que presenta la falla o escasez de producto corriente abajo.

El departamento técnico de Industrias Partmo S.A. cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, y con disponibilidad para ejecutar acciones correctivas provisionales o definitivas, en el momento que ocurre la avería.

Para el mantenimiento correctivo cuentan con partes inventariadas listas para ser intercambiadas en el momento del fallo, pero para que existan las unidades en inventarios que se necesitan se deben conocer realmente los motivos tanto posibles como frecuentes de fallo de las máquinas, para que se puedan realizar los pedidos de las piezas a usar, porque hay algunas piezas en inventario que nunca se usan y quedan obsoletas, mientras que las que se necesitan por fallo no se encuentran y es necesario esperar a que se haga el pedido.

Para el mantenimiento preventivo se lleva un cronograma de revisión de las máquinas, por medio de listas de chequeo, programado para los domingos, de tal manera que no interfiera con el horario destinado a la producción. Este mantenimiento, en la mayoría de los casos, no cumple su objetivo presentándose fallo de la máquina durante la semana siguiente a la jornada de mantenimiento.

Al hablar del departamento técnico existen dos puntos de mayor criticidad a tratar:

a) Herramientas necesarias para operar: Tener herramientas como troqueles, anillos o machos listas para ser usados en la producción es una de las más importantes oportunidades de mejoramiento que tiene tanto el departamento técnico como toda el área de producción. La política de Industrias Partmo S.A. de fabricar su propia herramienta sumada a la escasez de recurso humano y maquinaria para la fabricación de las mismas, desencadena un cúmulo de herramientas necesarias para el proceso productivo que entrarán a clasificarse según prioridad, siendo la mayoría de carácter urgente para garantizar la producción. Por esta razón, cuando ocurre que, una determinada troqueladora es la idónea para elaborar "x" proceso, pero el troquel necesario para ello no se encuentra completo, el departamento de planeación debe buscar una máquina alternativa en la que se pueda realizar dicho proceso, con el fin de cumplir el presupuesto.

Otro punto importante en cuanto a la carencia de recursos es que, al ser Industrias Partmo una empresa que requiere en gran medida de conocimientos empíricos para desarrollar las funciones que realizan los integrantes del departamento técnico, es importante que planeación otorgue permisos temporales a algunos operarios para que al apoyar al departamento técnico, éste se encargue de compartir los conocimientos que le han dado años de experiencia en la empresa y de esta forma se contara con personal polivalente que proporcione en cierta parte, flexibilidad al sistema, además de facilitar el continuo funcionamiento de la organización al momento de una jubilación o salida de personal , y disponibilidad de mano de obra para la elaboración y el control del estado de las herramientas.

b) Montajes: Para la realización de los montajes se requieren dos cosas:

- Tener las herramientas adecuadas, punto tratado anteriormente.
- Tener un conocimiento adecuado de la mejor forma de operación de las máquinas, es decir la presión, temperatura, velocidad, y demás características que afectan la calidad y cantidad de producción. Si se tuviera un conocimiento de cuáles son los valores óptimos de estas características para cada familia de referencias se podrían evitar tiempos de cuadro a prueba y error, así como ahorros de desperdicios tanto de tiempo productivo como material. De igual forma esto podría permitir la creación de un manual de montajes, tanto para estandarizar el proceso, como para requerir menos experiencia por parte de los operarios.

Cabe mencionar que parte de los tiempos de puesta a punto se deben a falta de control del estado de la herramienta necesaria para el correcto funcionamiento de la máquina que genere piezas ajustadas a las especificaciones de las fichas técnicas, esta falta de control, produce que, se almacene la herramienta y se descubra su desgaste o daño cuando el inspector de calidad examina el estado de las piezas producidas por la herramienta ya montada. Esto no sólo genera pérdida de tiempo por montajes, sino que ocasiona un cambio inmediato en la planeación

de producción, debiendo considerar el tiempo que mantenimiento necesita para el arreglo y las referencias que vienen en cola.

Es resumen, se resalta que el departamento técnico depende en cierta parte del área de planeación, en la medida en que este último puede o no asignarle recurso humano que colabore con planes de mejoramiento que permitan reducir el tiempo de puesta a punto de las máquinas. Esto se debe, como se mencionó anteriormente, a que los departamentos no tienen sus objetivos alineados y luchan individualmente para no recibir críticas de la dirección. Este hecho, además de perjudicar la eficiencia de toda la organización, produce un malestar generalizado, sobre todo en el departamento técnico, que se queja por ser el más desfavorecido por tener al departamento de productividad y calidad monitoreando continuamente sus resultados.

4.4.3. Producción. El área de producción es la que se encarga de transformar las láminas de metal que entran al sistema, en piezas que una vez ensambladas, pueden salir al mercado en condiciones óptimas de funcionalidad.

El inspector de planta, recibe la planeación de la producción del turno, y se encarga de asignar los operarios a cada una de las máquinas para que realice el proceso y la cantidad establecida en el programa de planeación.

Para llevar el control de inventario en proceso, los operarios, una vez terminado el turno, o la orden, deben llenar un reporte en donde se indique el número de piezas que fueron producidas; esto se realiza con fines tanto de control, como para fines de planeación de operaciones, ya que, el área de planeación requiere saber qué cantidades se encuentran en el inventario de partes, para poder ordenar el ensamble de las mismas; si los reportes no se encuentran actualizados, pueden conducir a errores en la planeación en la medida que se ordene ensamblar una referencia y se encuentren incompletas las partes de determinada pieza.

Para describir el área de producción, es indispensable resaltar que existe un grupo sindical, con objetivos bien definidos que en pro de su cumplimiento, en algunas ocasiones, generan en el área de planeación ciertas dificultades que retrasan la programación de las actividades. El grupo de operarios que hacen parte del centro de trabajo de las prensas, está conformado por algunos líderes sindicales que establecieron cuotas máximas de producción por referencia en cada prensa, y por ende, la mayoría de ellos trabaja hasta alcanzar dicho límite.

4.4.4. Calidad. El área de calidad, cuenta con diversos instrumentos de medición que permiten ejercer un control dimensional de las características específicas establecidas en las fichas técnicas de todas las piezas que conforman las referencias de planta-1.

La criticidad de algunos procesos que afectarían directamente al cliente externo, hace necesario que se haga una prueba poblacional, con el fin de proporcionarle al cliente la confianza de que todos los filtros que ingresan a la bodega de producto terminado, fueron probados en los procesos de mayor relevancia. De acuerdo con lo anterior, a todos los discos roscados se les hace una prueba de funcionamiento en el tampón de rosca pasa-no pasa; ya que, si se dejara de realizar esta prueba, es posible que el filtro salga de Industrias Partmo inservible porque no se ajustaría a la rosca que trae el vehículo, situación, que además de traer sobrecostos por el malestar causado al cliente, trae costos de logística inversa para recuperar las partes que pueden ser reutilizadas. Además de esto, todos los filtros, una vez pintados, son sometidos a pruebas de presión que detectan la presencia o no, de fugas que causarían daños en los motores.

Otra función atribuible al área de calidad, es la inspección de las pizas una vez se termina de montar la máquina; es aquí donde se vislumbran los problemas que se le imputan al departamento técnico por bajo control de estado de herramientas, tal

como se mencionó anteriormente. Para cumplir esta función, en la planta productiva se tienen dispuestos dos inspectores de calidad; uno que realiza las pruebas de disco roscado y otro que efectúa la inspección que aprueba o no las piezas una vez finaliza el montaje; además, este último se encarga de hacer muestreos aleatorios en los procesos de ensamble.

Con los datos obtenidos de los muestreos, el área de calidad realiza gráficas de control estadístico de procesos, para saber si el proceso está o no bajo control, y para poder atribuir causas a los factores que incidieron en dicha variabilidad con el fin de llevar a cabo acciones que permitan anular o disminuir la probabilidad de ocurrencia de las mismas.

4.4.5. Inventario. El E.R.P con el que cuenta la empresa, permite al área de compras conocer la cantidad de pedido óptimo por referencia y el momento en que debe realizarlo de acuerdo al programa de requisición de materiales (M.R.P).

En esta parte, es necesario indicar que la persona encargada de la bodega de producto terminado, es la única que tiene conocimiento de la disposición de las referencias en dicha bodega; por ende, es esencial que la empresa adquiera un sistema tecnológico que le permita tener control sobre dicha bodega, para saber con exactitud qué es lo que se tiene y en dónde se tiene. De acuerdo con lo anterior, el gerente de Industrias Partmo S.A, expresó a los autores del proyecto la pronta implementación de tecnología de radio frecuencia que permitirá ejercer un control total de la bodega de producto terminado.

## 5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD

### 5.1. ESTUDIO DE TIEMPOS

El reconocimiento del proceso productivo y la identificación de las características de las piezas que influyen en el tiempo de operación de las mismas, permitió agrupar en familias aquellas piezas que tuvieran dichas características iguales, con el fin de facilitar el estudio y de poder obtener el tiempo de cada una de las operaciones que conforman las referencias sin necesidad de tomárselo a todas.

El análisis de la operación realizada, la toma de algunos tiempos y el acompañamiento del departamento técnico permitieron reconocer las características de la pieza procesada que influían en el tiempo de duración de la operación. Asimismo, la información encontrada en las fichas técnicas de cada referencia, permitió conocer las piezas de las referencias que comparten estas características organizando de esta forma las familias; es así como se tienen unas familias para el proceso “embutir disco”, otras para “troquelar disco”, otras para “roscar disco”, y así para cada proceso. Posteriormente a medida que se presenten los tiempos se enunciarán las características influyentes en el tiempo de operación.

Otro punto que merece atención, es la no homogeneidad de las máquinas que conforman un centro de trabajo; por una parte, variables como presión, existencia de herramientas, capacidad de la máquina, entre otras, limitan la fabricación de algunas referencias para cada máquina de un mismo centro de trabajo, característica que hizo necesario seleccionar las referencias que cada máquina puede procesar para el análisis de capacidad. Por otra parte, las velocidades que manejan las máquinas que componen un mismo centro de trabajo son diferentes; por ende, si dos máquinas pueden hacer el mismo proceso de la misma referencia, el tiempo de operación es diferente en cada máquina haciéndose

necesario contemplar la variable “máquina” en el estudio de tiempos y de esta forma tomar tiempos para cada máquina de un mismo centro de trabajo.

Para la toma de tiempos se escogió la técnica por cronometro, iniciándose con una premuestra de 10 tiempos por familia, para posteriormente, con un error oscilante entre 1% y 5% de la media y un nivel de confianza del 95% poder calcular el tamaño de la muestra óptimo:

$$N = \frac{\left( s * t_{\alpha, n-1} \right)^2}{e^2}$$

Al tiempo que se tomaba la premuestra se identificaron los elementos, tanto repetitivos como no repetitivos, asimismo se identificó el tiempo de ciclo y las unidades resultantes por ciclo.

En la toma de la muestra, se tuvo especial cuidado con los operarios escogidos, analizando la rapidez de la operación para cada uno, buscando así el punto medio y asignando la respectiva valoración usando la escala de porcentajes a cada elemento según la duración de la operación respecto a ese punto medio. También se buscó la forma de tomar el tiempo sin que el operario tuviera conciencia de ello, esto con el fin de evitar la presión por ser evaluado o el hecho de poder descubrir posibles rendimientos superiores a los establecidos por los mismos operarios; aunque es necesario resaltar que los operarios estuvieron pendientes de la toma de tiempos, preguntando y analizando cada uno de los movimientos de los analistas y verificando que se tuvieran en cuenta aquellos tiempos que no hacían parte de la operación repetitiva, tiempos que ya habían sido contemplados en el estudio (elementos no repetitivos). Las premuestras y las muestras con su respectiva valoración se muestran en el Anexo 16.

La toma de muestras permitió encontrar algunos procesos para los cuales el tiempo promedio y la desviación de los tiempos con respecto a la media eran

aproximadamente iguales para todas las familias por lo que se decidió realizar una sola muestra.

Una vez terminada la toma de tiempos y obtenido el tiempo normalizado (valoración x tiempo tomado) se procedió a asignar los suplementos por descanso y necesidades personales con base en la tabla que se presenta en el libro “introducción al estudio del trabajo” de la OIT que se muestra en el Anexo 15, resultando el tiempo asignado. Los suplementos fueron asignados tanto para los elementos repetitivos como para los no repetitivos.

Los suplementos no tienen en cuenta los paros presentados por daños en las máquinas o por desajustes del troquel o de la herramienta, ni tampoco por situaciones como que se vaya la luz, que haya capacitaciones, que no hayan canastas disponibles o piezas para procesar, entre otro imprevistos. A estos eventos se les asigna un porcentaje conocido como contingencia. Para calcular este porcentaje se hizo un análisis de los paros reales ocurridos en el 2008 (desde enero hasta diciembre) que se obtuvieron de reportes de producción en los cuales los operarios registran estos sucesos y que se encuentran en el sistema informático manejado por la empresa. En estos reportes también se encuentran registrados los tiempos de montajes de rollos (materia prima para algunas operaciones), tiempos que fueron incluidos en el cálculo del porcentaje de contingencia para facilitar el análisis, ya que de cualquier forma deben ser tenidos en cuenta en el tiempo disponible de operación de la máquina. De los reportes se obtuvieron dos datos: Primero se seleccionó la información del tiempo de los paros y se clasificó en tiempo ocurrido por mes por turno para cada centro de trabajo y segundo se hizo una selección del tiempo real productivo total. La fórmula expuesta a continuación muestra la forma como se calculó el porcentaje de contingencia.

$$\text{Porcentaje de contingencia} = \frac{TTP}{TTP + TTPD}$$

*TTP:Tiempo total de paradas*

*TTPD: Tiempo total productivo*

Los porcentajes de contingencia por centro de trabajo se recopilaron en la tabla 7.

Existen centros de trabajo que no están contenidos en la tabla ya que la información obtenida por medio de los reportes es insuficiente. La poca información al respecto se debe a dos fenómenos: que los paros presentados sean mínimos y por lo tanto no se generen registros o que las máquinas sean relativamente nuevas y automáticas y no están a cargo de un operario específico para llenar los reportes. Para el primer caso se decidió asignar un porcentaje de contingencia de 0,3% porque, aunque no existen reportes o estos son mínimos, la planta no esta exenta de daños en este centro de trabajo o de apagones. En el segundo caso se esta hablando específicamente de la embolsadora de filtros, para la cual después de un seguimiento de paros se decidió asignarle un porcentaje del 2%.

*Tabla 7. Porcentajes de contingencia*

<b>MÁQUINA</b>	<b>PORCENTAJE DE CONTINGENCIA</b>
RF	9.21%
TR	1.81%
SO	0.39%
RO	0.74%
PZ-01	0.94%
HO-01	0.48%
FT	7.60%
CD-02	6.26%
PH	2.74%
PL	1.02%

*Fuente. Autores.*

EL análisis se hizo en dos etapas, primero se hizo la toma de tiempos para las partes y posteriormente para el área de ensamble. Las familias por máquina de cada proceso se encuentran en el Anexo 17, y el cálculo de la capacidad por proceso realizado en cada máquina se muestra en el Anexo 18, en este anexo se

encuentra el cálculo del tiempo asignado, el tiempo tipo y las unidades por hora obtenidas en cada operación; las fórmulas utilizadas para el cálculo de estos dos tiempos y para determinar las unidades/hora son mostradas a continuación; se resalta que el tiempo asignado y el tiempo tipo de todas las operaciones fue establecido en segundos por unidad.

$$Tiempo\ asignado = Tiempo\ observado * (1 + \% \text{ por suplementos})$$

$$Tiempo\ tipo = \frac{Tiempo\ asignado}{(1 - \%contingencia)}$$

$$\frac{Unidades}{Hora} = \frac{3600}{Tiempo\ tipo}$$

## 5.2. Capacidad de Partes

### 5.2.1. Troquelar disco tarro

*Máquinas que realizan el proceso:* CD-02, TR-16

*Familias formadas por:* Diámetro del disco tarro

Tabla 15. Troquelar disco tarro

<b>Familia</b>	<b>CD-02 [Unidades/Hora]</b>	<b>TR-16 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	684	2033
<b>2</b>	717	3281
<b>3</b>	700	2574
<b>4</b>	672	1748
<b>5</b>	658	
<b>6</b>	650	
<b>7</b>	647	
<b>8</b>	617	
<b>9</b>	655	
<b>10</b>	621	

Fuente. Autores.

### 5.2.2. Embutir disco tarro

*Máquinas\_que realizan el proceso:* PH-01, PH-08, PH-09, PH-10, PH-11

*Familias formadas por:* Altura y diámetro del tarro.

*Tabla 16. Embutir disco tarro*

<b>Familia</b>	<b>PH-01 Paso 1 [Unidades/ Hora]</b>	<b>PH-01 Paso 2 [Unidades/ Hora]</b>	<b>PH-08 Y PH-09 [Unidades/ Hora]</b>	<b>PH-10 [Unidades/ Hora]</b>	<b>PH-11 [Unidades /Hora]</b>
1	319	383	138	163	132
2	356	462	127	175	137
3	357	398	116	165	132
4	280	283	111	135	125
5	298	327	108	146	127
6	298	339	100	154	130
7			100	211	110
8			104	188	111
9			127	193	113
10			124	194	111
11			121	181	109
12			120	172	108
13			119	167	127
14			116	147	107
15			140	175	
16			92	141	
17			101	159	
18			111	152	

*Fuente. Autores.*

### 5.2.3. Facetar, desfondar y remachar

*Máquinas\_que realizan el proceso:* PH-05

*Familias formadas por:* Altura, diámetro del tarro y proceso.

*Tabla 17. Facetar, desfondar y remachar disco tarro*

<b>Familia</b>	<b>PH-05 [Unidades/Hora]</b>
1	138
2	125
3	117
4	110
5	204

Tabla 10. (Continuación)

Familia	PH-05 [Unidades/Hora]
6	177
7	151
8	214
9	195
10	171
11	249

Fuente. Autores.

#### 5.2.4. Troquelar tapas

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-20, TR-11

*Familias formadas por:* Diámetro exterior de la tapa.

Tabla 11. Troquelar tapas

Familia	TR-20 [Unidades/Hora]	TR-11 [Unidades/Hora]
1	3375	2377
2	3266	2269
3	2872	2103
4	2619	1910
5	2234	1696
6	1968	1536

Fuente. Autores

#### 5.2.5. Formar tubo central

*Máquinas que realizan el proceso:* PZ-01, FT-02, FT-03

*Familias formadas por:* Diámetro y altura del tubo central.

Tabla 12. Formar tubo central

<b>Familia</b>	<b>PZ-01 [Unidades/Hora]</b>	<b>FT-02 [Unidades/Hora]</b>	<b>FT-03 [Unidades/Hora]</b>
1	1472	1448	779
2	1472	1448	646
3	1320	1283	343
4	1261	1243	308
5	1261	1217	299
6	1051	1114	264
7	1051	990	229
8	1025	962	210
9	944	861	
10	899	786	
11	826	713	
12	1254	1002	
13	1254	1002	
14	1118	842	
15	1030	757	
16	1030	757	
17	896	630	
18	810	538	
19	657	421	
20	1286	856	
21	893	644	

Fuente. Autores.

#### 5.2.6. Troquelar disco roscado

Máquinas que realizan el proceso: TR-16, TR-19

Familias formadas por: Diámetro exterior del disco roscado.

Tabla 13. Troquelar disco roscado

<b>Familia</b>	<b>TR-16 [Unidades/Hora]</b>	<b>TR-19 [Unidades/Hora]</b>
1	3347	1391
2	3324	1371
3	3126	1352
4	2938	1324
5	2626	

Fuente. Autores.

### 5.2.7. Punzonar disco roscado

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-14, TR-15

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del disco roscado.

*Tabla 14. Punzonar disco roscado*

<b>Familia</b>	<b>TR-14 [Unidades/Hora]</b>	<b>TR-15 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	1121	1175
<b>2</b>		1138
<b>3</b>		1121
<b>4</b>		1083
<b>5</b>		1020

*Fuente: autores*

### 5.2.8. Avellanar disco

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-19

*Familias formadas por:* Diámetro interior del disco roscado

*Tabla 15. Avellanar disco roscado*

<b>Familia</b>	<b>TR-19 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	1269
<b>2</b>	1269
<b>3</b>	1269
<b>4</b>	1269
<b>5</b>	1269
<b>6</b>	1269

*Fuente: autores*

### 5.2.9. Embutir disco roscado

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-10, TR-17, TR-19

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del disco roscado.

Tabla 16. Embutir disco roscado

Familia	TR-10 [Unidades/Hora]	TR-17 [Unidades/Hora]	TR-19 [Unidades/Hora]
1	926	795	467
2	719	739	
3	624	716	
4	467	645	
5	358	519	

Fuente. Autores.

#### 5.2.10. Roscar disco roscado

Máquinas que realizan el proceso: RO-01, RO-02, RO-03, RO-04, RO-05, RO-06

Familias formadas por: Diámetro interior del disco roscado.

Tabla 17. Roscar disco roscado

Familia	RO-01 [Unidades/ Hora]	RO-02 [Unidades/ Hora]	RO-03 [Unidades/ Hora]	RO-04 [Unidades/ Hora]	RO-05 [Unidades/ Hora]	RO-06 [Unidades/ Hora]
1	127	473	263	93	497	163
2	124	451	253	94	354	163
3	122	429	244	86	309	163
4	121	429	243	93	320	162
5	120	429	241	86	426	162
6	119	429	239	78	327	162
7	119	414	237		300	161
8	118	414	235		194	162
9	115	395	227		157	160
10	114	384	222		131	159
11	114	382	222			158
12	113	376	220			158
13	112	363	218			158
14	108	318	208			158
15	100	234	184			157
16	100					154
17	99					145
18	97					142
19	97					
20	94					
21	80					

Tabla 17. (Continuación)

Familia	RO-01 [Unidades /Hora]	RO-02 [Unidades/ Hora]	RO-03 [Unidades/ Hora]	RO-04 [Unidades /Hora]	RO-05 [Unidades/ Hora]	RO-06 [Unidades /Hora]
22	63					
23	59					

Fuente. Autores.

5.2.11. Probar rosca del disco roscado

Proceso realizado por operarios

Familias formadas por: Diámetro interior del disco roscado.

Tabla 18. Probar rosca de disco roscado

Familia	2 OPERARIOS [Unidades/Hora]
1	714
2	714
3	714
4	714
5	714
6	714
7	714
8	714
9	714
10	562
11	562
12	562
13	562
14	562
15	534
16	534
17	534
18	534
19	534
20	534
21	588
22	524
23	524

Fuente: autores

### 5.2.12. Troquelar aro

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-17, TR-20

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del aro.

*Tabla 19. Troquelar aro*

<b>Familia</b>	<b>TR-17 [Unidades/Hora]</b>	<b>TR-20 [Unidades/Hora]</b>
1	1316	2833
2	1290	
3	1284	
4	1244	
5	1233	
6	1215	
7	1172	
8	1097	

*Fuente: autores*

### 5.2.13. Pestañar aro

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-21

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del aro.

*Tabla 20. Pestañar aro*

<b>Familia</b>	<b>TR-21 [Unidades/Hora]</b>
1	1482
2	1421
3	1228
4	1211
5	1174
6	1060
7	903

*Fuente: autores*

### 5.2.14. Troquelar porta-válvula

*Máquinas que realizan el proceso:* TR-11, TR-14

*Familias formadas por:* Diámetro de porta-válvula

Tabla 21. Troquelar porta-válvula

Familia	TR-11 [Unidades/Hora]	TR-14 [Unidades/Hora]
1	1023	1146
2	974	1082

Fuente: autores

#### 5.2.15. Troquelar refuerzo

Máquinas que realizan el proceso: TR-14

Familias formadas por: Diámetro exterior del refuerzo

Tabla 22. Troquelar refuerzo

Familia	TR-11 [Unidades/hora]	TR-14 [Unidades/Hora]
1	1754	1280
2	1636	1130

Fuente: autores

#### 5.2.16. Plisar papel

Máquinas que realizan el proceso: PL-04, PL-09, PL-10

Familias formadas por: Número de pliegues, ancho del pliegue, altura del elemento y tipo de papel.

Tabla 23. Plisar papel

Familia	PL-04 y PL-09 [Unidades/hora]	PL-10 [Unidades/Hora]
1	814	796
2	462	796
3	441	1194
4	370	672
5	288	511
6	502	511
7	1381	484
8	334	291
9	1135	489
10	467	407

Tabla 23. (Continuación)

Familia	PL-04 y PL-09 [Unidades/hora]	PL-10 [Unidades/Hora]
11	196	582
12	261	462
13	720	1051
14	935	582
15	490	1819
16	306	584
17	674	324
18	1792	584
19	1384	946
20	589	800
21	458	240
22	327	1333
23	564	1393
24	531	
25	531	
26	166	
27	166	
28	265	
29	465	
30	976	
31	300	
32	225	
33	456	
34	195	
35	474	
36	327	
37	203	
38	161	
39	252	

Fuente: autores

### 5.3. CAPACIDAD DE ENSAMBLE

#### 5.3.1. Soldar aro-disco

*Máquinas que realizan el proceso:* SO-07, SO-11.

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del aro.

Tabla 24. Soldar aro-disco

Familia	SO-07 [Unidades/Hora]	SO-11 [Unidades/Hora]
1	728	810
2	693	769
3	693	787
4	693	706
5	693	674
6	654	676
7	654	634
8	624	544

Fuente. Autores.

### 5.3.2. Pegar aro-disco

Máquinas que realizan el proceso: DA-01

Tabla 25. Pegar aro-disco

Familia	DA-01 [Unidades/Hora]
1	1114

Fuente. Autores

### 5.3.3. Poner refuerzo al tubo central

Máquinas que realizan el proceso: RF

Familias formadas por: Cantidad de refuerzos colocados.

Tabla 26. Poner refuerzo al tubo central

Familia	RF [Unidades/Hora]
1	444
2	327

Fuente. Autores

#### 5.3.4. Soldar refuerzo al tubo central

*Máquinas que realizan el proceso:* SO-02, SO-06

*Familias formadas por:* Cantidad de refuerzos colocados.

*Tabla 27. Soldar refuerzo al tubo central*

<b>Familia</b>	<b>SO-02 Y SO-06 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	371
<b>2</b>	268

*Fuente. Autores*

#### 5.3.5. Soldar tapa-válvula

*Máquinas que realizan el proceso:* SO-03

*Familias formadas por:* Diámetro exterior de la tapa inferior.

*Tabla 28. Soldar tapa-válvula.*

<b>Familia</b>	<b>SO-03 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	545
<b>2</b>	531
<b>3</b>	520
<b>4</b>	507
<b>5</b>	489

*Fuente. Autores*

#### 5.3.6. Soldar tarro-tuerca

*Máquinas que realizan el proceso:* SO-09

*Tabla 29. Soldar Tarro-tuerca.*

<b>Familia</b>	<b>SO-09 [Unidades/Hora]</b>
<b>1</b>	627

*Fuente. Autores.*

### 5.3.7. Dosificar pegante en tapas

*Máquinas que realizan el proceso:* DC-01, DC-02

*Familias formadas por:* Diámetro exterior de las tapas

Tabla 30. Dosificar pegante en tapas

Familia	DC-01 Y DC-02 [Unidades/Hora]
1	955
2	948
3	836
4	821
5	731
6	630

Fuente. Autores.

### 5.3.8. Cerrar filtro

*Máquinas que realizan el proceso:* CR-05, CR-06

*Familias formadas por:* Diámetro exterior del aro

Tabla 31. Cerrar filtro

Familia	CR-05 [Unidades/Hora]	CR-06 [Unidades/Hora]
1	898	715
2	866	653
3	853	570
4	818	496
5	833	319

Fuente. Autores

### 5.3.9. Limpiar filtro

*Proceso realizado por operarios*

Tabla 32. Limpiar filtro

Familia	2 OPERARIOS [Unidades/Hora]
1	1072

Fuente. Autores

### 5.3.10. Pintar filtro

Máquinas que realizan el proceso: MP-01, MP-02

Familias formadas por: Color de la pintura

Tabla 33. Pintar filtro

Familia	MP-01 Y MP-02 [Unidades/Hora]
1	671
2	1451

Fuente. Autores

### 5.3.11. Curar pintura

Máquinas que realizan el proceso: HO-03

Familias formadas por: Color de la pintura

Tabla 34. Curar pintura

Familia	CADENA IZQUIERDA [Unidades/Hora]	CADENA DERECHA [Unidades/Hora]	TOTAL [Unidades/Hora]
1	486	486	972
2	326	352	678

Fuente. Autores

### 5.3.12. Secar filtro

Proceso realizado por operarios

Tabla 35. Secar filtro

Familia	1 OPERARIO [Unidades/Hora]
1	1036

Fuente. Autores

### 5.3.13. Marcar filtro

Máquinas que realizan el proceso: MF-01 (SCREEN)

Familias formadas por: Diámetro del tarro

Tabla 36. Marcar Filtro

Familia	MF-01 [Unidades/Hora]
1	1307
2	1248
3	1208
4	1148
5	1047

Fuente. Autores

### 5.3.14. Imprimir fecha al filtro

Máquinas que realizan el proceso: Video Jet

Familias formadas por: Diámetro del tarro

Tabla 37. Imprimir fecha

Familia	VIDEO JET [Unidades/Hora]
1	1135
2	1094
3	1066
4	1015
5	954

Fuente. Autores

### 5.3.15. Colocar empaque de carcasa

Proceso realizado por operarios

Familias formadas por: Diámetro del tarro

Tabla 38. Poner empaque de carcasa

Familia	1 OPERARIO [Unidades/Hora]
1	848
2	818
3	799
4	721
5	625

Fuente. Autores

### 5.3.16. Embolsar filtro

Máquinas que realizan el proceso: ME-03

Familias formadas por: Altura del tarro

Tabla 39. Embolsar filtro

Familia	ME-03 [Unidades/Hora]
1	1379
2	1315
3	1272
4	1233
5	1175
6	1012

Fuente. Autores

### 5.3.17. Empacar filtros en caja

Proceso realizado por operarios

Familias formadas por: Cantidad de filtros que se empacan por caja

Tabla 40. Empacar filtros en caja

Familia	1 OPERARIO [Unidades/Hora]
1	635
2	731
3	864

Fuente. Autores.

#### 5.4. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD INSTALADA

Una vez hallados los tiempos de operación y la capacidad de la máquina en cada proceso, se procedió a analizar la capacidad instalada de la planta; para ello, se realizó una matriz que muestra el tiempo que cada máquina requiere para realizar una operación a cada referencia (Véase el Anexo 19); con base en esta matriz, se calcularon las unidades que cada centro de trabajo puede producir con un porcentaje de utilización del 100% en cada una de las operaciones con el objetivo de encontrar el centro de trabajo que en cada una de las referencias ejecute la menor cantidad de piezas u operaciones, ya que las unidades finales de filtros de cada referencia están determinadas por la operación más lenta (aquella que en igualdad de condiciones produce menos unidades). Se resalta que debido a las particularidades de la planta, se presentaron diversas restricciones que fueron resueltas como se explica a continuación:

- I. El tiempo que se demora un proceso depende de la máquina: situación que hizo necesario el cálculo individual de las unidades obtenidas para cada referencia en cada máquina con el tiempo respetivo (minutos disponibles mensuales de la máquina, sobre minutos requeridos para realizar un proceso de determinada referencia en dicha máquina) y sumar dichas unidades. Se resalta que los minutos mensuales disponibles por máquina fueron calculas con la siguiente fórmula:

$$\text{Minutos mensuales disponibles} = [(60 * \text{horas trabajadas al día}) - \text{descansos diarios} * \text{días trabajados al mes}]$$

- II. Una máquina puede realizar más de una operación: situación que condujo a repartir el tiempo disponible de dichas máquinas proporcionalmente al tiempo gastado en las operaciones comprometidas en la máquina, y luego, aplicar la metodología descrita en el punto anterior para totalizar las unidades, cuando el proceso pudiera realizarse en más de una máquina.

El Anexo 20 muestra una tabla con las unidades mensuales máximas producidas para cada referencia, es decir la matriz muestra el escenario en el cual la planta dedicara el 100% del tiempo mensual disponible a fabricar sólo una referencia; escenario que se encuentra para cada referencia vital y de crecimiento. Este escenario se utilizará para contrastar el modelo simulado, pero es en la simulación donde se presentarán escenarios que incluyan la combinación de las referencias vitales y de crecimiento.

Con la matriz anteriormente descrita, se puede concluir que el centro de trabajo que determina las unidades máximas de las referencias son las prensas; ya que es el centro de trabajo que produce el menor número de piezas en la mayoría de las referencias; máxime si se tiene en cuenta que el tiempo de alistamiento de las prensas supera por más del 60% al tiempo de alistamiento más próximo, el del horno de pintura. Los tiempos de alistamiento fueron tomados por los autores, y se encuentran en el Anexo 21. Se resalta que las referencias en donde la cantidad de tarros superan algún otro proceso, son referencias que tienen ciertas particularidades como:

- Tarro facetado o desfondado: La PH-05 está disponible solamente para realizar estas operaciones, si se aclara que aproximadamente el 6% del total de las referencias deben pasar por este proceso, se comprenderá que al producir una combinación de referencias, este proceso dejaría de

determinar la cantidad máxima posible de filtros a obtener en un periodo de tiempo.

- Avellanar disco: La tr-19 es la encargada de realizar este proceso, en este caso también es imperativo conocer que el 22% de los discos son avellanados, por lo tanto, al igual que en el caso anterior, una combinación de referencias dejaría al centro de trabajo que produce la siguiente menor cantidad de procesos (prensas) como el recurso determinante de la capacidad.
- Soldar tapa válvula: Situación semejante a las anteriormente descritas donde solamente el 34% de las referencias utilizan este recurso.
- Plisar Papel: Este proceso, produce la restricción de capacidad en algunas referencias que sólo pueden hacerse en la PL-10; como esta máquina sólo puede plisar ciertas referencias, sucede lo mismo que lo expuesto en los casos anteriores.

## 6. PROPUESTAS DE MEJORA

### 6.1. REALIZACIÓN DE UN MACRO QUE FACILITE LA PLANEACIÓN DEL PAPEL PLISADO

Durante la toma de tiempos, se pudo evidenciar que para la operación de plisar papel el ancho de los rollos de los que se provee la empresa y que son montados en las plisadoras al ser dividido en la altura del papel necesario para armar un filtro de alguna referencia, genera desperdicio de papel ya que esta división no es exacta. Cualquier desperdicio de materia prima es importante pero el de papel para INDUSTRIAS PARTMO, lo es en gran medida ya que es la materia prima más costosa para la empresa. La gran cantidad de referencias existentes y la necesidad de aprovechar al máximo el tiempo de producción, evitando reprocesar tiras de papel sobrante de un rollo, hicieron posible la concepción de una herramienta que evaluara los criterios que deben cumplir dos referencias para ser incluidas en la operación de plisado de un mismo rollo para minimizar el desperdicio de papel resultante.

Excel fue la herramienta escogida. Esta aplicación de Windows permite, por medio del lenguaje de programación Visual Basic, la realización de macros.

Lo primero que se realizó fue el diseño del formulario mostrado en la ilustración No. 29

Posteriormente se introdujo (en la “Hoja1” del libro “Macro papel Partmo”), a manera de base de datos, información relevante para cada una de las familias de papel según las clasificaciones manejadas en la empresa, como lo es alto del elemento, ancho del pliegue, número de pliegues y tipo de papel. Se decidió dejar todas las familias de papel que maneja la empresa, porque al dejar sólo las referencias vitales y de crecimiento se estarían reduciendo posibilidades de

combinaciones de referencias que minimicen el desperdicio, y esta no es la idea del macro. Se hizo de esta manera con el fin de generar una mayor utilidad al encontrar todas las referencias que se programen y se notaron en familias porque así es realizada la planeación.

Ilustración 29. Formulario papel

The image shows a software window titled "CONSULTA" with a logo for "INDUSTRIAS Partmo S.A." and the slogan "FILTRACION POSITIVA". The form contains the following fields and controls:

- REFERENCIA:** A dropdown menu.
- TIPO DE PAPEL:** A text input field.
- TAMAÑO DEL ROLLO:** A text input field containing the value "800".
- Grid of fields:**

ALTO ELEMENTO	ANCHO PLIEGUE	NUMERO DE PLIEGUES	VECES	SOBRANTE
0	0	0	0	0
- REFERENCIA CONJUNTA:** Two text input fields, each containing "0".
- Buttons:** "CALCULAR", "SIGUIENTE REFERENCIA", and "CANCELAR".

Fuente: Autores

Al momento de seleccionar una referencia de las que aparecen en el listado del formulario (o al digitarla) los campos tipo de papel, alto del elemento, ancho del pliegue y número de pliegues son llenados con la información de la base de datos contenida en el libro. Asimismo son realizados los cálculos del número de veces que cabe el ancho del elemento en el tamaño del rollo, es decir el número de unidades que pueden ser producidas a la vez, al tiempo que se calcula el sobrante

del rollo que es el dato que será usado para el cálculo de la referencia a ser producida de manera conjunta.

$$\text{Sobrante} = \text{Tamaño del rollo} - \text{número de veces} * \text{alto del elemento}$$

Es importante resaltar que el ancho de rollo puede ser modificado por el usuario, ya que en la empresa se manejan varios tamaños, siendo el más usado el de 800 mm, por lo cual es el valor que aparece en el formulario por defecto.

Ya para el cálculo de la referencia o referencias conjuntas se crearon dos botones: calcular y siguiente referencia.

El botón “calcular” arroja la referencia que se puede producir conjuntamente con la referencia escogida en el campo “referencia” arrojando el menor desperdicio posible. En caso de que esta referencia este programada para ser producida en un horizonte cercano, si existe otra referencia que cumpla con los criterios, el botón “siguiente referencia” arrojará la siguiente referencia que genere el menor desperdicio de papel.

Es necesario aclarar que las referencias conjuntas deben tener en común con la referencia escogida en el campo “referencia”: ancho de pliegue, número de pliegues y tipo de papel. La programación se realizó para verificar la igualdad de estos criterios de la referencia escogida en el campo “referencia”, que se toma como base, con los de todas las demás referencias contenidas en la base de datos, teniendo especial cuidado en que el alto de la referencia comparada no sea mayor que el sobrante de la referencia base. Las filas que no cumplen con estos criterios se ocultan para poder copiar las referencias candidatas y pegarlas en la “Hoja2” del libro “Macro papel Partmo”. Por último se escoge la referencia que al dividir su alto del elemento en el sobrante arroje la menor parte decimal. Para el cálculo de la siguiente referencia se borra la referencia anteriormente hallada y se busca nuevamente la de menor parte decimal.

El libro [“Macro papel Partmo”](#) y la programación puede ser vista siguiendo el hipervínculo.

## 6.2. ASIGNACIÓN DE TROQUELADORAS A UN SOLO PROCESO

La flexibilidad que tienen las troqueladoras de realizar más de un proceso, deja de ser una ventaja del sistema para convertirse en un despilfarro en costos si se tiene en cuenta que a mayor número de procesos que realice una troqueladora, se deben tener más troqueles; situación que aumenta el esfuerzo ejercido del equipo de mantenimiento, ya que aumenta significativamente el número de troqueles a los que deben realizar mantenimiento preventivo y correctivo.

En planta-1 existen tantas troqueladoras como procesos que deben pasar por ellas (diez en total); por ende, la idea que se pretende es lograr asignar un solo proceso a cada troqueladora con el fin de estandarizar más las operaciones y reducir costos.

La viabilidad de la idea expuesta anteriormente, depende de demostrar si los minutos disponibles en cada máquina, alcanzan a abastecer los minutos requeridos para cumplir con la demanda de procesos requeridos; demanda extraída de los pedidos de los clientes; ya que al comparar el promedio de la cantidad de filtros pedidos con respecto a los filtros elaborados (de referencias vitales y de crecimiento), el de los pedidos (ventas efectivas + pedidos insatisfechos) dio un mayor valor que el promedio de los filtros producidos.

El Anexo 22 muestra la matriz de los minutos requeridos por cada proceso en la máquina seleccionada para realizar cada una de las operaciones que requieren troqueladoras; la tabla 41 muestra los minutos requeridos y los minutos disponibles de la máquina, minutos que fueron hallados con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Min. dispon.} = & \{ [ ( (60 * \text{horas trabajadas al día}) - \text{descansos diarios} ) \\
 & * \text{días trabajados al mes} ] * 0.8379 \} \\
 & - (\text{Tiempo de alistamiento en la máquina} * \text{Núm. de alistamientos})
 \end{aligned}$$

El porcentaje por el cual se multiplica la fórmula, corresponde a la porción que las referencias vitales y de crecimiento tienen en la participación del total de pedidos de todas las referencias para el 2008 (se escogió este año por ser el que más se ajustaba a los requerimientos actuales de los clientes).

Tabla 41. Minutos disponibles en las troqueladoras.

Proceso	Troqueladora	(A) Min. Requeridos	(B) Min. disponibles	(B)-(A)
Tapas	TR-20	8893	12615	3722
Troquelar Disco	TR-19	8112	13279	5167
Punzonar Disco	TR-15	9805	13435	3630
Avellanar Disco	TR-19	1887	4274	2387
Embutir Disco	TR-10	15234	13083	-2151
Troquelar Aro	TR-17	8729	12731	4002
Pestañar Aro	TR-21	7704	14462	6758
Porta-válvula	TR-14	4650	15875	11225
Refuerzo	TR-14	775	10911	10136

Fuente. Autores.

El único proceso que no alcanza a abastecer la demanda es embutir disco en la TR-10; por lo tanto, los minutos que faltan en esta troqueladora serían proporcionados por la TR-17, que es la siguiente troqueladora que puede realizar este proceso. Se resalta que el proceso de troquelar disco tarro se omitió del análisis porque la máquina CD-02 está disponible únicamente para realizar este proceso, y si falta capacidad para el mismo, la TR-16 estaría disponible ya que no

se necesita para ningún otro proceso. Por lo tanto, la propuesta de asignación de las troqueladoras se resume en la tabla 42.

*Tabla 42. Procesos asignados a las troqueladoras.*

DISCO TARRO	CD-02 y TR-16
TAPAS	TR-20
TROQUELAR DISCO	TR-19
PUNZONAR DISCO	TR-15
EMBUTIR DISCO	TR-10 y TR-17
AVELLANAR DISCO	TR-19
TROQUELAR ARO	TR-17
PESTAÑAR ARO	TR-21
PORTAVÁLVULA	TR-14
REFUERZO	TR-14

*Fuente. Autores.*

Esta propuesta ahorraría los troqueles de los siguientes procesos en las siguientes máquinas:

*Tabla 43. Troqueles ahorrados.*

TAPAS	TR-11
TROQUELAR DISCO	TR-16
PUNZONAR DISCO	TR-14
EMBUTIR DISCO	TR-19
TROQUELAR ARO	TR-20
PORTAVÁLVULA	TR-11
REFUERZO	TR-11

*Fuente. Autores.*

Con esta propuesta también se concluye que la TR-11 no es necesaria para cumplir con la demanda, si la dirección decide dejarla en planta-1 esta Troqueladora podría utilizarse para abastecer procesos en situaciones de emergencia.

En este punto es importante realizar un análisis de la relación costo/beneficio que la empresa asumiría al aplicar esta propuesta:

Por una parte, la empresa no asumiría un costo efectivo como tal, ya que la implementación de la propuesta no requiere inversión; no obstante, la empresa tendría que asumir aquellos costos de oportunidad implicados en aquellas situaciones en las que se necesite urgentemente un tipo de pieza y la máquina o el troquel asignados para tal operación presenten un tipo de falla que impida la producción de la pieza. Estas situaciones tendrían muy baja probabilidad de ocurrencia con un plan de mantenimiento preventivo tal, que asegurara la confiabilidad de troqueladoras y troqueles.

Por otra parte, los beneficios económicos que la empresa obtendría con la aplicación de la propuesta son directos e indirectos; el ahorro económico directo se especifica en la tabla 44, mientras que los beneficios indirectos están asociados a la facilidad que el modelo propuesto otorgaría al área de planeación, contribuyendo con esto a un mejoramiento de la programación de operaciones.

*Tabla 44. Beneficios económicos de la propuesta.*

DESCRIPCIÓN DE BENEFICIO	Total de troqueles ahorrados	Horas mensuales invertidas en un troquel	Valor de Mano de Obra en Mantenimiento	Valor mensual ahorrado
Ahorro en el mantenimiento de troqueles	50	1.5	\$ 22,500	\$ 1,687,500
DESCRIPCIÓN DE BENEFICIO	Total de troqueles ahorrados	Precio de venta de un troquel	Días Vida útil (mes)	Valor mensual ahorrado
Ahorro en la elaboración de troqueles	50	\$ 3,000,000	0.1	\$ 12,500,000
			<b>TOTAL AHORRO MENSUAL</b>	<b>\$ 14,187,500</b>

*Fuente. Datos obtenidos por el departamento de Recursos Humanos y el Grupo Operativo de Industrias Partmo S.A.*

El área de planeación empezará a aplicar la propuesta a modo de prueba en el mes de Mayo de 2009, y si en este mes se observa que la confiabilidad de las máquinas les permite asignarle un solo proceso a una sola máquina, la propuesta será aplicada definitivamente.

### 6.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DE LA PLANTA PARA UN PRESUPUESTO DADO

Teniendo en cuenta las múltiples referencias que maneja la empresa y después de ser identificado el recurso restrictivo de capacidad, se decidió, a petición de la empresa y a manera de generar un uso práctico de la información recopilada, diseñar una herramienta que permitiera comprobar si el tiempo disponible de este recurso (prensas), y por ende de la planta, era suficiente para cumplir con el presupuesto mensual de producción. La principal utilidad de esta herramienta es la de facilitar la planeación de los recursos y la de permitir a los encargados y directivos conocer la capacidad a la que se encuentra trabajando la planta. Esta necesidad surgió desde la gerencia de la empresa; el gerente manifestó que le gustaría, introduciendo las unidades del presupuesto, conocer el porcentaje de capacidad usado.

La herramienta escogida fue, nuevamente Excel. En este programa se diseñó un macro cuyos datos de entrada fueran las unidades a producir de cada una de las referencias en cada máquina, devolviendo el porcentaje de ocupación. Al decir datos de entrada se hace referencia a la información que debe introducir el usuario del programa, ya que el programa requiere otros datos como son: Los minutos disponibles para la operación de cada máquina por mes, los tiempos de operación por referencia por máquina y los tiempos de alistamiento por máquina, información que fue calculada en el estudio de tiempos y que se encuentra contenida en una

tabla que se encuentra en la hoja “tabla” del libro de Excel “MACRO CAPACIDAD”.

Lo primero en realizarse fue la estructura de la hoja para facilitar la programación. Este diseño se aprecia en la ilustración 30. Posteriormente se procedió a los cálculos que, para los dos casos, fueron realizadas para cada referencia de una misma máquina y por separado para cada máquina, la programación, así como el libro y su funcionamiento, pueden ser vistos siguiendo el hipervínculo del libro [“Macro capacidad”](#).

*Ilustración 30. Diseño de la hoja de cálculo para el Macro de capacidad*

REFERENCIAS	MÁQUINA	PORCENTAJE OCUPACIÓN	UNIDADES	MÁQUINA	PORCENTAJE OCUPACIÓN	UNIDADES	TOTAL UNIDADES
AS-7015	PH-10	0.602%	321.96	PH-11	0.000%	0.00	321
AS-950	PH-10	0.000%	0.00	PH-11	0.000%	0.00	0
AS-R45	PH-10	2.295%	1474.00	PH-11	0.000%	0.00	1474
AW-2010	PH-10	2.628%	1309.90	PH-11	0.000%	0.00	21309
AW-2127	PH-10	3.780%	2050.07	PH-11	0.000%	0.00	2079
ECOF-1675	PH-10	0.000%	0.00	PH-11	0.000%	0.00	0
ECOF-1810	PH-10	0.000%	198.72	PH-11	0.000%	0.00	198
GO-1	PH-10	0.120%	60.79	PH-11	0.000%	0.00	97
GO-13	PH-11	0.000%	0.00	PH-11	0.000%	0.00	10000
TOTAL OCUPACIÓN operación		79%	TOTAL OCUPACIÓN DADO		0%		
MINUTOS DISPONIBLES		1246.741232	MINUTOS DISPONIBLES		20760		
PORCENTAJE OCUPACIÓN		94%	PORCENTAJE OCUPACIÓN		0%		
TOTAL			TOTAL REAL				
CAPACIDAD USADA			39%				

*Fuente. Autores.*

El Macro realiza las siguientes acciones para cada referencia de una misma máquina:

- Leer las unidades a producir
- Restar de la disponibilidad inicial el tiempo de alistamiento de la máquina.
- Calcular los minutos de operación de la máquina requeridos por referencia según las unidades a producir dadas.
  
- $MINREF = UNID * t$
  
- *MINREF*: Minutos totales de operación para todas las unidades de una referencia
- *UNID*: Unidades a producir
- *t*: Tiempo unitario de operación para la referencia *i* en la máquina *j*.
  
- Restar los minutos de operación por referencia (*MINREF*) de la disponibilidad que aún tiene la máquina.
- Calcular el porcentaje dividiendo los minutos totales de (*MINREF*) entre la disponibilidad inicial de tiempo de la máquina. En caso de que, por el consumo de minutos en alistamiento, la disponibilidad de tiempo sea inferior a los minutos de operación por referencia (*MINREF*), en el campo de porcentaje aparece “falta capacidad” con un fondo rojo.
- Devolver el valor del porcentaje dadas las unidades producidas.
- Calcular otros datos:
  - El campo de total ocupación operación corresponde a la suma de los porcentajes para todas las referencias para cada prensa.
  - El campo minutos disponibles muestra los minutos que aun quedan libres para ser usados en cada máquina.
  - El campo porcentaje de ocupación total muestra el porcentaje de minutos disponibles, para cada máquina, que han sido absorbidos tanto por operación como por alistamiento.
- Cálculos globales:

- Calcular el porcentaje de capacidad libre: Es igual a la suma de los minutos disponibles para cada prensa dividida en la suma de los minutos iniciales disponibles para cada prensa.
- Calcular el porcentaje de capacidad usada: Es igual a la resta de la suma de los minutos disponibles para cada prensa de los minutos iniciales disponibles para cada prensa dividida en la suma de los minutos iniciales disponibles para cada prensa.

En el cálculo de la disponibilidad minutos disponibles iniciales para cada máquina se tuvo en cuenta que deben ser el 83% de los minutos totales disponibles para la misma unidad de tiempo (para el caso de Macro realizado, es de un mes). Es el 83% porque este es el porcentaje de representación de las referencias para quienes fueron tomados los tiempos (Pareto).

#### 6.4. RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE ALISTAMIENTOS EN LAS PRENSAS

Como se mencionó en el capítulo anterior, las prensas constituyen el centro de trabajo que determina las unidades de filtros máximos a producirse; si se retoma la idea de que los tiempos de alistamiento en cada prensa superan por más del 60% al tiempo de alistamiento del centro de trabajo más cercano a ellas, es imperativo que la empresa empiece a aplicar estrategias que puedan reducir los tiempos de puesta a punto en esta área. A continuación son expuestas algunas recomendaciones que podrían contribuir a la minimización del tiempo de alistamiento en prensas:

- La persona del departamento técnico encargada de las piezas que componen los troqueles puede hacer una lista de las piezas que se le deben entregar a cada montador en cada alistamiento (por referencia).

El encargado de alistamiento debe revisar si falta alguna pieza y dejarlo por escrito, con el fin de crear un formato que vislumbre el total de las piezas que faltan para cada referencia, cuales ya están quedando obsoletas o cuantas requieren de arreglos.

- Al momento del montaje se encuentran piezas que han sufrido golpes o tienen rebabas, haciéndose necesario realizar un proceso de maquinado, perdiendo tiempo. Los operarios en sus informes pueden anotar estas eventualidades, ya que ellos saben cuándo se va haciendo necesario el afilamiento de algún disco. Por esta razón no debería esperar a que fallara una vez puesta en marcha la operación, sino que se podría llevar un historial de piezas producidas antes de requerir ser afiladas y realizar estas operaciones en el descanso inmediatamente anterior del operario de turno para no perder tiempo de producción.

También es necesario hacer énfasis en los talleres de grupo sobre la importancia de informar golpes a las piezas para que éstas puedan ser valoradas y rectificadas antes del siguiente montaje.

- Las prensas no cuentan con los elementos de medición necesarios para algunos de sus pasos (manómetros). El uso de esta herramienta de medición es indispensable para agilizar el tiempo de montaje, y no tener que recurrir a mediciones subjetivas de variables críticas, hechas por los operarios de las máquinas utilizando tan sólo sus sentidos. También es necesario establecer, por parte del departamento técnico, los niveles de presión adecuados para cada paso según el montaje.

- Para poder estandarizar las operaciones se deben poner en marcha las recomendaciones anteriores y realizar talleres (empezando con una lluvia de ideas y realizando diagramas causa efecto) que permitan la interacción de los ingenieros de mantenimiento (que tienen los conocimientos técnicos y de las

características para el correcto funcionamiento de las máquinas) con los operarios (que son quienes diariamente están en contacto con la máquina y pueden generar ideas de cómo trabajarían mejor). Estos talleres permitirían:

- La socialización de las mejores prácticas de alistamiento de troqueles, donde los operarios más experimentados y más ágiles puedan contar sus procedimientos de tal manera que se complementen entre ellos la mejor forma de hacer las cosas.
- Recibir opiniones de mejora de los métodos de trabajo que sean valoradas (en cuanto a su viabilidad) por los ingenieros.

## **7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SLP PARA LA REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA**

### **7.1. ANÁLISIS**

En esta fase se pretende analizar el grado de relación existente entre los centros de trabajo.

7.1.1. Análisis del flujo de materiales. El flujo de materiales se refiere al movimiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado entre todos los centros de trabajo de la planta y las diferentes bodegas.

Para determinar el flujo de piezas entre las diferentes máquinas se tomó como base la planeación de la producción realizada en la empresa. De acuerdo a esta información suministrada por la persona encargada de realizar la planeación se sacaron los porcentajes que determinan la relación en cuanto al volumen del flujo de material corriente abajo en el proceso productivo.

Posteriormente se creó una matriz de doble entrada que relaciona las operaciones realizadas al producto. En la columna se encuentran las estaciones que intervienen en la ejecución de cada una de las operaciones e indica el punto de partida del material o producto; en la fila, se encuentran las mismas estaciones en el mismo orden, indicando el punto de llegada de los materiales o productos. Esta matriz puede contener dos o más veces una misma máquina, dependiendo de qué operaciones realice. A través de los porcentajes anteriormente adquiridos aplicados a la demanda de todas las referencias vitales y de crecimiento, esta matriz pretende determinar la cantidad de unidades que fluyen a lo largo del proceso según la secuencia de las operaciones. Véase el Anexo 23

El Anexo 24 presenta el diagrama multiproducto de volúmenes, en el cual se especifica la cantidad de producto o material que se mueve entre las máquinas

(sin repetición) representado de forma matricial, la intersección de una estación con otra indica el volumen de flujo entre ellos.

7.1.2. Análisis de relación entre actividades. El flujo de material será el factor determinante del grado de relación existente entre estaciones; de esta manera se establece la cercanía o lejanía necesaria entre ellas, teniendo en cuenta que para encontrar el flujo total entre dos estaciones “X y Y” se considera el flujo tanto de la cantidad de material que va de la estación “X” a la estación “Y”, como la cantidad de material que va desde la estación “Y” hasta la estación “X”. Para esto se elabora una matriz de relación de proximidad basado en una escala de seis niveles que van desde la absoluta necesidad de proximidad entre estaciones (relación tipo A) hasta la relación ordinaria (relación tipo O). La tabla 45 muestra la escala total aplicada, se resalta que la relación de tipo indeseable no se tuvo en cuenta, ya que en la planta no se encuentra ninguna restricción de este tipo que exija la lejanía entre dos estaciones, de la misma forma, la relación no importante, es decir la tipo “u” tampoco se tuvo en cuenta ya que hace referencia a un volumen de flujo igual a cero.

*Tabla 45. Valores del grado de cercanía entre estaciones*

CÓDIGO	DEFINICIÓN DE LA RELACIÓN
A	Absolutamente Necesaria
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria

*Fuente: Autores*

La tabla 46 muestra los intervalos de flujo de material que fueron asignados a cada nivel de la escala presentada anteriormente; dichos intervalos fueron determinados hallando la amplitud de los mismos con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\text{Unidades máximas transferidas} - \text{Unidades mínimas transferidas}}{\text{Número de Intervalos}}$$

Tabla 46. Intervalos de intensidad de relaciones

CÓDIGO	RANGO	
	INICIAL	FINAL
A	384159.30	511541.00
E	256778.36	384159.20
I	129397.45	256778.35
O	2016.55	129397.50

Fuente: Autores.

El Anexo 25 muestra la matriz de relaciones de proximidad, que resume el diagrama multiproducto de volúmenes en letras que definen el grado de relación de proximidad de acuerdo a la escala establecida en la tabla 46.

Las relaciones obtenidas de esta matriz fueron en su gran mayoría tipo O, esto no permite un análisis de redistribución basado en este diagrama, ya que no da el grado real de importancia de proximidad que tienen determinadas máquinas. Las características de diseño del producto con respecto a las cantidad de piezas que debe llevar de cada componente hacen que de algunas piezas, como las tapas, se presente un flujo elevado, mientras que de otras, de igual importancia para el proceso, este flujo se veía pequeño y por lo tanto relaciones que debían ser fuertes se tornaban débiles.

### 7.1.3. Diagrama de relaciones

Teniendo en cuenta la matriz de relaciones de proximidad, se procedió a realizar un listado por tipo de relación para posteriormente construir el diagrama de relaciones (Véase la ilustración 31); se resalta que el costo unitario asociado al transporte es igual para todas las piezas, ya que el sistema de transferencia utilizado para el transporte es igual para todas las partes, por este motivo, la cantidad de piezas transferida entre estaciones determinará el costo de transporte y por ello, las relaciones de proximidad.

## 7.2. PROPUESTAS DE REDISTRIBUCIÓN

La información recolectada a lo largo del proyecto entra a dar forma a esta etapa.

La aplicación de la metodología SLP para industrias Partmo S.A permitió conocer a fondo la dirección del flujo de las piezas entre las diferentes estaciones, los porcentajes establecidos permitieron establecer verdaderas relaciones entre las máquinas, no sucediendo así con los volúmenes entre máquinas arrojados, y por ende con el diagrama de relaciones obtenido.

Para la realización de las propuestas de redistribución en planta fueron de vital importancia, además del porcentaje antes mencionado, el conocimiento del proceso productivo obtenido por medio de las diferentes actividades realizadas a lo largo del proyecto (elaboración del plano, elaboración de diagramas de operaciones y de recorrido y la toma de tiempos, este último tal vez el más relevante). El reconocimiento de los recursos cuello de botella en el análisis de capacidad y la posibilidad de mejorar los tiempo de desplazamiento especialmente del producto obtenido en este recurso y de garantizar que los demás componentes del filtro estuvieran a tiempo en el ensamble permitió establecer prioridades al momento de redistribuir.

Por otro lado se hizo necesario indagar más a fondo sobre aspectos que a simple vista parecen relevantes y sobre aquellos que no lo son a la hora de reubicar la maquinaria, con esto se hace referencia a las limitaciones que tiene la planta. Es en este punto donde nos encontramos con dos restricciones:

- Debajo del mesanini sólo puede ser colocada maquinaria que genere poco ruido durante su operación, debido a que la estructura y el espacio encerrado debajo del mismo pueden actuar como cámara de resonancia. Esto ocasiona no sólo un aumento en el ruido, sino que las vibraciones

generadas pueden ocasionar que la estructura se convierta en un riesgo para las actividades que se realizan allí.

- Debajo de la zona donde actualmente se encuentra ubicado ensamble se halla la bodega de producto terminado, razón por la cual la placa que soporta esta zona no podría soportar la entrada de montacargas (necesario para la operación de máquinas como prensas y troqueladoras) y mucho menos el peso de algunas máquinas. Tampoco sería posible la ubicación de máquinas que requieran de fluidos (aceite) en abundancia para realizar la labor, debido a la filtración del fluido hasta caer en las cajas que se encuentren en bodega.

Las ilustraciones 32 y 33 muestran las propuestas de redistribución que disminuirán la distancia total recorrida por las piezas con el fin de obtener beneficios que se verán reflejados en una mayor organización en planta y ahorros en tiempo de transporte.

La tabla 47 plasma el ahorro porcentual de las distancias totales recorridas por las referencias. Las distancias recorridas fueron calculadas en el software PROMODEL, utilizando la herramienta “Path Networks” sobre los planos de las redistribuciones; rutas que se pueden observar en el archivo adjunto de las simulaciones. Se resalta que la segunda propuesta de redistribución ahorra dos puntos porcentuales más que la primera propuesta, pero que requiere mayor inversión por el traslado de la bodega de tarros.

Es importante realizar un análisis de la relación costo/beneficio obtenido por cada propuesta dada, y en cada caso, calcular el periodo de tiempo en el que la empresa recuperará la inversión realizada con el fin de conocer la factibilidad económica del proyecto; este análisis se realizó en el capítulo 8 del presente libro, ya que se requerían los resultados obtenidos en la simulación de las propuestas.

Ilustración 31. Diagrama de relaciones.



Fuente. Autores.

Tabla 47. Ahorro de distancia de las dos propuestas de redistribución.

CARACTERÍSTICAS DE LAS REFERENCIAS									
Válvula de alivio	Tarro desfondado o Racor	Refuerzo	Aro pestañado	Disco Avellanado	DISTANCIA ACTUAL (m)	DISTANCIA PROPUESTA 1 (m)	AHORRO (%)	DISTANCIA PROPUESTA 2 (m)	AHORRO (%)
NO	NO	NO	SI	NO	1047	665	36%	651.37	38%
SI	NO	NO	SI	NO	1092	722	34%	669.69	39%
SI	NO	NO	NO	NO	1047	725	31%	702.69	33%
NO	NO	NO	NO	NO	1003	668	33%	654.375	35%
NO	SI	NO	SI	NO	1084	737	32%	722.49	33%
NO	NO	NO	NO	SI	1067	672	37%	658	38%
SI	NO	NO	SI	SI	1111	725	35%	703.39	37%
NO	NO	SI	SI	SI	1176	755	36%	740.58	37%
SI	NO	SI	SI	SI	1221	811	34%	788.8	35%
NO	SI	NO	NO	NO	1040	683	34%	669.375	36%
NO	SI	NO	SI	SI	1128	687	39%	673.07	40%
SI	NO	SI	SI	NO	1201	807	33%	785.19	35%
PROMEDIO							34%	PROMEDIO	36%

Fuente. Autores.



Ilustración 33. Segunda Propuesta de Redistribución.



**TÍTULO:**  
 PROPUESTA 2 DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA DE INDUSTRIAS PARTMO S.A.

**REALIZADO POR:**  
 MARÍA ALEJANDRA MÚNERA BAUTISTA  
 KAREN VIVIANA MAIGUEL GALVIS

**FECHA DE REALIZACIÓN:**  
 ABRIL 15 DE 2009

**ESCALA:**  
 1:100

**ELEMENTOS REPRESENTADOS:**  
 Plano de la planta

Fuente. Autores

## 8. SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA

### 8.1. PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE DE LOS TIEMPOS

Stat Fit es un software estadístico que tiene Promodel para utilizarse en casos donde se tengan datos reales y se quieran conocer los parámetros de las distribuciones de densidad-probabilidad que más se ajustan a dichos datos.

Para realizar las pruebas de bondad y ajuste, Stat Fit cuenta con tres test a saber: Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov (KS) y Anderson.

El test estadístico de KS fue el test escogido por los autores para realizar las pruebas de bondad y ajuste de los tiempos observados en las muestras por las razones expuestas a continuación:

- Chi Cuadrado es óptima para 200 datos y se puede decir que es válida a partir de 100 registros, ya que trabaja con intervalos y requiere mínimo de 5 datos en cada uno para disminuir la sensibilidad de la prueba. Debido a que las muestras de todas las familias tomadas no exceden la cantidad de 100 observaciones, Chi Cuadrado no es, en este caso, el test más indicado para elaborar las pruebas de bondad y ajuste.
- Anderson y KS presentan el mismo principio de comparar el valor empírico con el de la distribución pero Anderson es muy sensible a valores extremos; por lo tanto KS es el test que mejor se ajustaría a las características de los datos reales tomados anteriormente.

Para escoger la distribución se tomó como referencia, primero el hecho de aceptarse la hipótesis nula (la prueba KS se basa en la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre la distribución muestral y la teórica), segundo el menor valor del estadístico KS de la distribución (ya que representa una menor diferencia de las variabilidades máximas de los tiempos), y tercero el p-valor. Es

importante destacar que si el p-valor es grande significa que el valor del estadístico observado era esperable, dado que la hipótesis nula es cierta; el criterio es, entonces, comparar el p-valor con el nivel de significancia escogido (5%), ya que permite, en caso de ser aceptada la hipótesis nula, reafirmar esta aceptación si el p-valor es mayor que el nivel de significancia y rechazar la afirmación en caso contrario. También se tuvo en cuenta la comparación gráfica de la distribución teórica con el gráfico de frecuencias de la muestra tomada.

En algunos casos, si la hipótesis nula era aprobada, pero el p-valor encontrado no superaba por mucho el nivel de significancia, se decidió tomar la distribución más aproximada, ya que en la planta de producción se presentan fenómenos que pueden no ser evidenciados en la muestra, pero que al describir el comportamiento de estos tiempos de acuerdo a una distribución puede tenerse un horizonte de probabilidades de ocurrencia de tiempos más amplio, hecho que beneficia la simulación, ya que dichas probabilidades reflejarían más congruentemente la realidad que se pretende simular, y no se estaría limitando el comportamiento de los datos a una distribución empírica proveniente de datos que posiblemente no reflejen todos los hechos que puede variar las situaciones normales de ocurrencia.

Para el análisis se estudiaron tres distribuciones, escogidas por las condiciones de no negatividad de la variable tiempo. Estas distribuciones son: Exponencial, Uniforme, y Triangular.

El Anexo 26 muestra el resultado de la selección de las distribuciones de cada una de las muestras tomadas en el estudio de tiempos; en dicho anexo se enseña la gráfica de frecuencias con la distribución escogida así como la siguiente información:

- Distribución seleccionada
- Estadístico KS: Es el valor del estadístico de acuerdo a los valores de la muestra
- Estadístico KS (n,  $\alpha$ ): Es el valor del estadístico teórico de acuerdo al número de datos tomados y el nivel de significancia escogido.
- P-Valor

El anexo 27 muestra las distribuciones que fueron asignadas a cada una de las referencias por proceso.

## 8.2. PRIMER ESCENARIO DE SIMULACIÓN

El primer escenario de simulación escogido se realizó con el fin de validar el modelo simulado; previamente, en el subcapítulo 5.4 del presente libro se definió el escenario de capacidad en el cual la planta dedicara el 100% de su capacidad mensual en elaborar una sola referencia; por lo tanto, se escogió la referencia A-1 para contrastar los resultados obtenidos en la simulación y los obtenidos con el análisis de tiempos.

El contraste de los resultados obtenidos de las unidades producidas de la referencia A-1 se observa en la siguiente tabla:

*Tabla 48. Validación del modelo simulado*

<b>ANÁLISIS DE CAPACIDAD (Unid)</b>	<b>SIMULACIÓN (Unid)</b>	<b>DIFERENCIA PORCENTUAL</b>
86287	95272	10%

*Fuente. Autores.*

El margen de error presentado fue del 10%. Este margen es aceptable si se tiene en cuenta que los tiempos usados en el análisis de capacidad fueron tiempos discretos, mientras que los usados para la creación del modelo en Promodel fueron descritos mediante distribuciones continuas. Por lo tanto el modelo queda validado y servirá de base para el análisis de los siguientes escenarios.

Este escenario permitió comprobar que las prensas son el recurso restrictivo de capacidad, eso teniendo en cuenta el porcentaje de operación (% operation) más el porcentaje de tiempos muertos (% down). Para este recurso, las prensas, la suma de estos dos porcentajes es de 100%, siendo el único recurso que presenta este valor. Cabe resaltar que se incluyeron los tiempos muertos en el análisis del recurso cuello de botella porque estos, para el caso de los modelos realizados en este proyecto, son los tiempos de alistamiento de cada máquina y se tomaron como downtimes por facilidad en la programación. Los resultados de la simulación arrojados por Promodel para este escenario se muestran en el siguiente hipervínculo [Primer escenario \(validación a-1\)](#). Asimismo, la programación del escenario en Promodel se enseña siguiendo el hipervínculo [Promodel-Primer Escenario](#).

### 8.3. SEGUNDO ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Se estableció el escenario de la demanda mensual de las referencias vitales y de crecimiento, con el fin de determinar si planta-1 de Industrias Partmo puede cumplirle a todos sus clientes, o si por el contrario, cuenta con un recurso cuello de botella que impide el cumplimiento del 100% con la demanda.

Se resalta que el tiempo disponible mensual fue calculado de la siguiente forma:

*Horas mensuales disponibles*

$$= [(horas trabajadas al día - horas de descansos diarios) \\ * días trabajados al mes] * 0.83$$

El factor 0.83 en la fórmula, indica que se tuvo en cuenta el porcentaje que las referencias vitales y de crecimiento tenían con respecto a la participación de todas las referencias existentes (83%).

La siguiente tabla muestra la diferencia entre la cantidad de filtros demandados y los obtenidos en la simulación. Los obtenidos en la simulación se evidencian como total salidas de tarro, ya que tarro fue el nombre que se le dio a la entidad a la que se ensamblan todas las partes hasta completar el filtro y salir de la bodega de producto terminado:

*Tabla 49. Unidades faltantes para cumplir con la demanda*

<b>DEMANDA (Unid)</b>	<b>SIMULACIÓN (Unid)</b>	<b>DIFERENCIA (Unid)</b>
189840	151108	36756

*Fuente. Autores.*

Al encontrar una diferencia significativa se pudo concluir que si existe un recurso cuello de botella en la empresa, nuevamente, y como era de esperarse, son las prensas, comprobado al evaluar el porcentaje de operación más el porcentaje de tiempos muertos. Se determinó también que el porcentaje de incumplimiento en los pedidos de los clientes es cerca del 20%, representando un costo de oportunidad elevado para la empresa, en cuanto a pérdida de mercado se refiere. Estos porcentajes y los demás resultados obtenidos al simular este escenario se encuentran en [SEGUNDO ESCENARIO \(DEMANDA\)](#). Y el modelo en donde se encuentra la programación de este escenario se encuentra siguiendo el hipervínculo [Promodel-Segundo Escenario](#).

#### 8.4. TERCER ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Debido a los resultados presentados en el escenario anterior, se procedió a simular planta-1 con una prensa adicional. Esto se realizó ya que las prensas fueron determinadas como el recurso cuello de botella; se eligió adicionar una prensa idéntica a la PH-10, por ser la prensa más flexible que tiene la planta y porque fue la prensa con mayor porcentaje de operación presentado en la simulación del escenario anterior (tomando como tiempo de operación aquel tiempo en el que la máquina está embutiendo tarros, más el tiempo requerido para el alistamiento de la prensa).

Los resultados de la simulación indican que con la adquisición de una prensa adicional, la empresa está en la capacidad de cumplir el 100% con la demanda, además se infiere que las prensas pasan de ser el recurso cuello de botella, al recurso restrictivo de capacidad, por lo que resulta imperativo que la empresa empiece a aplicar mejoras que permitan disminuir el tiempo total necesario para la fabricación de todos los tarros. Se resalta que una forma de lograr esto es disminuyendo los tiempos de alistamiento, máxime si se tiene en cuenta que la duración de los mismos oscila entre los 145 y 150 minutos. En el subcapítulo 6.4 se realizaron algunas recomendaciones que podrían aplicarse para la disminución de los tiempos de alistamiento en el centro de trabajo en cuestión.

Por otra parte, la adquisición de un nuevo recurso, trae para la empresa costos que requieren justificación para su erogación, por este motivo se presenta en la tabla 50 el costo y el beneficio total que implica la inversión para un período de tiempo de un año. Asimismo, se calculó el tiempo de retorno de la inversión y se obtuvo que en un periodo de 1. 77 meses planta-1 de Industrias Partmo recuperaría el costo asumido por la adquisición de la nueva máquina, después de ese tiempo la empresa comenzaría a obtener un beneficio mensual representado por \$109.998.337 pesos colombianos; por lo tanto, la propuesta es totalmente factible más aún, si se tiene en cuenta que en los beneficios esperados no se tuvo

en cuenta, el costo de oportunidad que la empresa deja de perder al satisfacer a todos sus clientes.

Los resultados estadísticos obtenidos en la simulación del modelo se encuentran siguiendo el hipervínculo [Tercer escenario \(Nuevo Recurso\)](#) y el modelo de programación se encuentra en el hipervínculo [Promodel-Tercer escenario](#).

Los escenarios que se presentan a continuación corresponden a la simulación de las propuestas de redistribución en planta presentadas en el capítulo anterior, pretendiéndose comprobar que la disminución en las distancias entre máquinas a lo largo del flujo del producto generan la salida de más unidades de producto permitiendo acercarse al cumplimiento de la demanda.

#### 8.5. CUARTO ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Este escenario hace referencia a la primera propuesta de redistribución presentada. Los datos arrojados, presentados en el hipervínculo [Cuarto escenario \(propuesta1\)](#), muestran que para esta propuesta se produjeron 151185 unidades evidenciando un aumento de la producción en 75 unidades con respecto a la distribución actual. Analizando los costos de realizar la redistribución, que se llevaría a cabo en un puente festivo para no realizar paros en la producción, con la ayuda de 6 operarios y con el montacargas de la empresa, y la contribución mensual que generaría producir estas unidades de más (que se sabe van a ser ventas) se realizó el cálculo para la recuperación de la inversión. Los costos generados y los beneficios obtenidos para dar como resultado al tiempo de retorno se muestran en la tabla 51.

Tabla 50. Costo/ Beneficio de la adquisición de la nueva Prensa.

CONCEPTOS	PERIODO (MESES)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
<b>INGRESOS</b>																
Unidades mensuales adicionales	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756	36,756				
Margen de contribución unitario	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050				
<b>SUBTOTAL INGRESOS</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>	<b>112,105,837</b>				
<b>EGRESOS</b>																
CIF		607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500	607,500				
Pago de Mano de Obra	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000				
<b>SUBTOTAL EGRESOS</b>	<b>1,500,000</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>				
<b>FLUJO NETO OPERATIVO</b>	<b>110,605,837</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>				
<b>OTROS EGRESOS</b>																
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>																
Costo de prensa tipo PH-10	150,000,000															
Costo de troqueles	45,000,000															
<b>TOTAL OTROS EGRESOS</b>	<b>195,000,000</b>															
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>196,500,000</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>	<b>2,107,500</b>				
<b>TOTAL FLUJO DE CAJA</b>	<b>-84,394,163</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>	<b>109,998,337</b>				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>TASA DE DESCUENTO MENSUAL</b></td> <td style="width: 50%; text-align: right;"><b>0.62%</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>VPN</b></td> <td style="text-align: right;"><b>\$ 1,075,331,460.90</b></td> </tr> </table>													<b>TASA DE DESCUENTO MENSUAL</b>	<b>0.62%</b>	<b>VPN</b>	<b>\$ 1,075,331,460.90</b>
<b>TASA DE DESCUENTO MENSUAL</b>	<b>0.62%</b>															
<b>VPN</b>	<b>\$ 1,075,331,460.90</b>															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"><b>Período de la recuperación de la inversión (meses)</b></td> <td style="width: 20%; text-align: right;"><b>1.777</b></td> </tr> </table>													<b>Período de la recuperación de la inversión (meses)</b>	<b>1.777</b>		
<b>Período de la recuperación de la inversión (meses)</b>	<b>1.777</b>															

Fuente. Datos obtenidos por el Departamento de Mercadeo y Ventas y por el Grupo de Apoyo de Industrias Partmo S.A. y por los autores.

Tabla 51. Costo/ Beneficio de la primera propuesta de distribución.

CONCEPTOS	PERIODO (MESES)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS</b>												
Unidades mensuales adicionales	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Margen de contribución unitario	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050
<b>SUBTOTAL INGRESOS</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>
<b>FLUJO NETO OPERATIVO</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>
<b>OTROS EGRESOS</b>												
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>												
Costo de la mano de obra (días festivos)	173,915											
Costo pimpinas de gas para montacarga	480,000											
<b>TOTAL OTROS EGRESOS</b>	<b>653,915</b>											
<b>TOTAL FLUJO DE CAJA</b>	<b>-425,165</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>	<b>228,750</b>
	<b>TASA DE DESCUENTO MENSUAL</b>			<b>0.62%</b>	<b>Período de la recuperación de la inversión (meses)</b>					<b>2.858</b>		
	<b>VPN</b>		<b>\$ 1,988,105.44</b>									

Fuente. Datos obtenidos por el Departamento de Mercadeo y Ventas y por el Grupo de Apoyo de Industrias Partmo S.A. y por los autores.

Se concluye que la empresa en 2.86 meses recuperaría la inversión realizada inicialmente y a partir de este tiempo empezaría a generar ganancias adicionales por \$228.750. La simulación del modelo se puede encontrar en el hipervínculo [Promodel-Primera Propuesta.](#)

#### 8.6. QUINTO ESCENARIO DE SIMULACIÓN

El análisis de la segunda propuesta de redistribución toma forma en este escenario. Para esta propuesta las unidades en que se excede a la distribución actual de planta son 151185 equivalentes a un aumento de 77 unidades con respecto a la distribución en planta actual. Estos datos estadísticos arrojados en la simulación se encuentran en el siguiente hipervínculo: [Quinto escenario \(propuesta2\)](#) Para el análisis de costo-beneficio de este escenario se empleará el mismo descrito para la propuesta anterior, ya que los costos de realizar la distribución son los mismos. El cálculo de los meses requeridos para recuperar la inversión se muestra en la siguiente tabla 52.

Se concluye que la empresa en 2.78 meses recuperaría la inversión realizada inicialmente y a partir de este tiempo empezaría a generar ganancias adicionales por \$234.850. La simulación del modelo se puede encontrar en el hipervínculo [Promodel-Segunda Propuesta.](#)

Cabe resaltar que para todos los escenarios, al observar el tiempo de operación y sumándolo a los tiempos muertos, las prensas fueron el recurso cuello de botella para todos los escenarios, menos para el escenario 3 donde se adicionó otra prensa.

Tabla 52. Costo/ Beneficio de la segunda propuesta de distribución.

CONCEPTOS	PERIODO (MESES)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS</b>												
Unidades mensuales adicionales	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Margen de contribución unitario	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050	3,050
<b>SUBTOTAL INGRESOS</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>
<b>FLUJO NETO OPERATIVO</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>
<b>OTROS EGRESOS</b>												
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>												
Costo de la mano de obra (días festivos)	173,915											
Costo pimpinas de gas para montacarga	480,000											
<b>TOTAL OTROS EGRESOS</b>	<b>653,915</b>											
<b>TOTAL FLUJO DE CAJA</b>	<b>-419,065</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>	<b>234,850</b>
	<b>TASA DE DESCUENTO MENSUAL</b>		<b>0.62%</b>		<b>Período de la recuperación de la inversión (meses)</b>						<b>2.784</b>	
	<b>VPN</b>		<b>\$ 2,058,452.39</b>									

Fuente. Datos obtenidos por el Departamento de Mercadeo y Ventas y por el Grupo de Apoyo de Industrias Partmo S.A. y por los autores.

## 9. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Tabla 53. Cumplimiento de Objetivos.

Objetivo	Porcentaje de Cumplimiento	Capítulos Referenciado
<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir las referencias vitales para planta 1 con base en datos históricos de los pedidos realizados por los clientes.</li> </ul>	100%	Capítulo 4. Subcapítulo 4.2
<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterizar el proceso productivo mediante la realización de diagramas de proceso y de recorrido.</li> </ul>	100%	Capítulo 4. Subcapítulo 4.3
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el plano de planta 1 de Industrias Partmo S.A. incluyendo la disposición actual de las máquinas.</li> </ul>	100%	Capítulo 4. Subcapítulo 4.3
<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los tiempos requeridos por operación, a partir de un estudio de tiempos por cronómetro.</li> </ul>	100%	Capítulo 5. Subcapítulo 5.1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterización de los tiempos de operación como variables aleatorias a partir de pruebas de bondad y ajuste.</li> </ul>	100%	Capítulo 8. Subcapítulo 8.1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcular la capacidad instalada de la planta y validarla a partir del modelo simulado.</li> </ul>	100%	Capítulos 5 y 8. Subcapítulos 5.2, 5.3, 5.4 y 8.2
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el impacto de modificaciones en los recursos instalados a partir de escenarios de simulación.</li> </ul>	100%	Capítulo 8. Subcapítulo 8.4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar propuestas de redistribución de la planta y evaluar los beneficios obtenidos de cada una por medio de las herramientas de simulación del software PROMODEL.</li> </ul>	100%	Capítulo 7

Fuente. Autores.

## CONCLUSIONES

- La sinergia entre los departamentos de una empresa es fundamental no sólo para la satisfacción de los clientes al mejorar la calidad o disminuir tiempos de entrega, sino para el desarrollo profesional de cada una de los empleados de una empresa. Si los esfuerzos de cada departamento son aislados las mejoras no se van a realizar satisfactoriamente, el hecho de que cada departamento este pensando en óptimos locales y no en el beneficio de todos, genera un ambiente laboral complicado de manejar, donde se lucha por mantener el estatus quo, para no aumentar la carga laboral personal. En este punto se pudo evidenciar la importancia de un líder común a ciertos departamentos que pueda darle una sola dirección a las labores de todos los departamentos.
- El análisis Pareto permitió identificar aquellas referencias vitales para planta-1; sin embargo, se decidió tomar en cuenta aquellas referencias cuyo volumen de demanda actual no era tan representativo como para quedar seleccionadas en el análisis Pareto, pero que las expectativas de crecimiento de la demanda justificaban tenerlas en cuenta en el análisis de capacidad y en la metodología de redistribución en planta con el fin no sólo de obtener un análisis de mayor cobertura, sino de proporcionar a la empresa un análisis que incluya el comportamiento pasado, presente y futuro de la demanda.
- La realización del diagrama de operaciones y el de recorrido permitió reconocer en primera instancia el proceso, así como el plano de la planta permitió reconocer la ubicación y nombre de cada una de las máquinas. Estos tres elementos fueron fundamentales para la realización del estudio de tiempos, no obstante, después del estudio de tiempos se pudieron realizar algunas modificaciones a estos diagramas, generándose así una retroalimentación fundamental para la redistribución.

- La toma de tiempos, además de permitir el cálculo de la capacidad de la empresa lleva a un conocimiento más profundo del proceso. La observación de cada una de las transformaciones que sufre el producto a través de su recorrido por la planta, permiten la identificación de las máquinas y la operación para la cual están destinadas, es más, en algunos casos permite conocer hasta que procesos puede llegar a elaborar así no esté entre sus funciones. La existencia de elementos no repetitivos en los procesos, permite corroborar el flujo entre ciertas máquinas y evidenciar los flujos desde y hacia bodegas, así como la acumulación de inventario alrededor de algunas máquinas, la forma de transporte y las distancias recorridas por las piezas. Ocurrencias como paradas por daños en las herramientas o por falta de elementos necesarios para la operación como canastas, no hubieran podido ser identificados de no ser por la presencia permanente, durante el estudio de tiempos, en ciertas máquinas, estas observaciones junto con la base de datos de paradas y montajes de rollo, permitió el cálculo de un porcentaje de contingencia acorde a cada grupo de máquinas.
- La creación de familias para la toma de tiempos, disminuyó el tiempo a ser empleado y permitió la identificación de piezas genéricas para los filtros. De igual forma facilitó la comprensión de la forma de operar de la empresa (zona de producción de partes).
- El estudio de tiempos permitió a la empresa corroborar las nociones de los tiempos de determinados procesos, así como la adquisición del conocimiento de aquellos procesos recientes o que no habían sido analizados.

- En empresas como Industrias Partmo S.A, que cuenta en su catálogo con más de 1000 referencias, teniendo como vitales 80, no es posible dar una capacidad exacta, se puede determinar cuántas unidades hora pueden salir de cada referencia en cada máquina, o si sólo se produjera una referencia al mes cual sería la capacidad (manejo de escenarios), y de esta manera poder identificar los recursos restrictivos de capacidad, este trabajo se hace tedioso en la medida que aumenten las referencias. Para el análisis de un escenario con unidades por referencia determinadas se hace necesario el uso de software especializado, ya que se sería necesario entrar a hacer una asignación de las referencias a los recursos y la complejidad de las operaciones aumenta con la cantidad de rutas a seguir que pueda tener determinada pieza.
- El fin último de cualquier estudio es entregar información relevante y organizada que permita el manejo y fácil manipulación de la misma. Es por esta razón que la clasificación y uso de herramientas informáticas hizo parte importante de este proyecto al realizar la construcción macros en Excel. La principal aplicación de estas herramientas es en la planeación de la producción, actividad que se venía realizando de manera empírica y que gracias a las herramientas ahora cuenta con una base de datos organizada para disminuir el desperdicio en la materia prima más costosa y con la posibilidad de organizar la producción de tal manera que sea factible (de acuerdo a la capacidad) el cumplimiento de determinado presupuesto para una secuenciación dada.
- En cualquier estudio de capacidad se deben identificar que tiempos no deben ser tenidos en cuenta en las horas productivas. Situaciones como paros en las máquinas, montajes, falta de herramientas o de elementos necesarios para la labor deben ser estudiados y analizados. La

colaboración de los operarios en el registro de estos tiempos durante su labor, sumado a la existencia de sistemas informáticos existentes fueron de vital importancia para la consideración de estos tiempos en el estudio.

- La caracterización de los tiempos (tomados por medio de muestras estadísticamente validadas) por medio de distribuciones, permite otorgar a las operaciones el carácter fluctuante inherente a ellas, para así poder lograr en la simulación resultados semejantes a la realidad.
- El uso de la metodología SLP permitió aclarar el enrutamiento de las máquinas (unas con otras, más allá de la secuencia de las operaciones). Realmente la matriz relaciones no fue de gran utilidad ya que el volumen de piezas producidas por ciertas máquinas era muy alto comparado con los de otras, esto debido a las características de producto con respecto a la cantidad ensamblada de cada una de estas piezas; esto generó relaciones de poca importancia cuando la importancia era relevante.
- La principal herramienta para el análisis y realización de las propuestas de redistribución fue el conocimiento tanto del proceso productivo como de las limitaciones inherentes a la estructura física de la planta. Es imposible obviar la existencia de limitaciones para el movimiento y ubicación de equipos cuando estas son de primer nivel, es decir que es de conocimiento para el proyecto que la empresa no estaría dispuesta a hacer la inversión requerida, por lo que se debe centrar en propuestas viables que estén de acuerdo con las necesidades de la empresa.
- El modelo simulado se pudo validar a partir de los escenarios establecidos en el análisis de la capacidad instalada. Esto permitió conocer los resultados obtenidos en diferentes escenarios con el fin de evaluar el impacto de propuestas de redistribución y de modificación en los recursos

actuales de la empresa. La simulación como herramienta permitió conocer datos específicos de las unidades terminadas adicionales que lograría la empresa al realizar los cambios propuestos, y con estos resultados se realizó el análisis de retorno de la inversión para cada caso.

- Con la simulación de los dos últimos escenarios se evidenció que una redistribución en planta puede generar a una empresa el aumento en la producción. Y que este aumento depende de la posibilidad de acercar los recursos que intervienen en la transformación del producto. También se evidencia como los cambios o diseños estructurales de la edificación donde se encuentre ubicada una planta de producción son quienes determinan las posibilidades de generar mayores salidas del producto al limitar la acomodación de estos recursos. No obstante la posibilidad de generar mayores salidas por redistribución es un hecho que puede darse sólo con referencia a la capacidad productiva de la planta, capacidad que está guiada por el recurso cuello de botella, para este caso las prensas.
- Al realizar el análisis de las simulaciones se concluye que trae mayores beneficios económicos para Industrias Partmo planta-1 adquirir una nueva prensa, que realizar las redistribuciones. Lo anterior se infiere con el análisis costo/ beneficio que se realizó en el capítulo 8 de cada escenario de simulación. Con dicho análisis se encontró que si la empresa adquiere una nueva prensa recuperará la inversión realizada en 1.75 meses y después de este tiempo obtendría ganancias adicionales mensuales de \$112.105.837 pesos colombianos. Por otra parte, con las propuestas de redistribución la empresa obtendría beneficios de \$234.850 a partir de 2.78 meses, tiempo en el cual se recupera la inversión.

- El contexto competitivo en el que las empresas están inmersas impulsa a las mismas a buscar proyectos que contribuyan en cierta parte a aumentar la productividad del sistema. Es interesante que empresas como Industrias Partmo que tienen un excelente posicionamiento en el mercado tengan la visión de implementar mejoras para lograr ventajas comparativas o porque no, ventajas competitivas; en este punto se pretende no sólo exaltar la visión progresista de Industrias Partmo sino también agradecer la colaboración de la misma con la academia al permitir oportunidades de aprendizaje invaluable por medio de las prácticas empresariales.

## BIBLIOGRAFÍA

- CHASE, Richard B., JACOBS F. Robert, AQUILANO Nichikas J. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva. Décima edición. México, Mc Graw Hill, 2005.
- DOMINGUEZ MACHUCA José Antonio, GARCÍA GONZÁLEZ Santiago, DOMINGUEZ MACHUCA M. Ángel, RUIZ JIMÉNEZ Antonio, ÁLVAREZ GIL M José. Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. España, Mc Graw Hill, 1995.
- MUTHER, Richard. 20 claves para mejor la fábrica. Madrid-España: Ed. TGP-Hoshin, 1993.
- SULE, Dileep R. Instalaciones de Manufactura, Ubicación, Planeación y Diseño. Editorial Thomson Learning, Mexico 2001.
- ÓRTIZ, Néstor Raúl. Análisis y mejoramiento de los procesos de la empresa. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1999.
- GARAVITO HERNÁNDEZ, Edwin. La Simulación como herramienta para la toma de decisiones y Promodel como herramienta de simulación. Primera edición. Santander, Bucaramanga, 1997.
- MAKRIDAKIS, Spyros., WHEELWRIGHT, Steven. Manual de técnicas de pronósticos. México, Ed. Limusa S.A., 1997.
- HARREL Charles, BATEMAN Robert, GOGG Thomas, MOTT Jack, System Improvement using simulation, 2 ed., Estados Unidos. JMI consulting Group and Promodel Corporation, 1992.