

**Propuesta de mejora en los métodos de trabajo en el área de producción en la
empresa Provemel Ltda.**



Autores

Jhoan Sebastián Picón Torres, César Eduardo Tavera Morales

Director

Dra. Emilsy Rosio Medina Chacón

Universidad El Bosque

Ingeniería Industrial

Diseño, Gestión e Ingeniería de Operaciones

Bogotá, Colombia

Febrero de 2019

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres por el apoyo, por la confianza que me brindaron durante la carrera, orientándome a cumplir mis objetivos y metas propuestas en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

-Jhoan Picón

Dedico este proyecto a mis padres por su apoyo incondicional, a mis maestros, amigos y asesores quienes contribuyeron a la persona que soy hoy en día, a la Ingeniera Emilsy Medina, quien nos apoyó, asesoró y con paciencia nos enseñó en cada paso del desarrollo de este trabajo de grado.

-César Tavera

AGRADECIMIENTOS

Queremos darle gracias a Dios, por brindarnos la sabiduría, también a las personas que fueron puestas en nuestro camino a lo largo del tiempo, durante la elaboración de nuestro proyecto, a nuestras familias por el apoyo incondicional. Agradeciendo de manera especial a nuestra directora Emilsy Medina Chacón, por su orientación, su apoyo, su experiencia y la dedicación durante este proyecto.

De igual manera a la gerencia de Provemel LTDA por brindarnos su compañía, para realizar nuestro proyecto, al tiempo del Administrador de empresas Juan Carlos Malaver, el ingeniero Luis Herrera, que de manera incondicional nos otorgaron las orientaciones en la planta de producción y de igual manera a los operarios por estar siempre prestos a colaborar y resolver nuestras dudas sobre la operación en la elaboración de nuestro proyecto, a nuestro compañero Andrés Bernal Herreño por ponernos en contacto con la compañía y a su vez abrirnos las puertas.

Finalmente, a la Universidad El Bosque y a sus docentes, quienes a lo largo de la carrera nos brindaron sus conocimientos y nos brindaron el espacio, para afirmar nuestro propio criterio, para finalmente poner todo de nosotros en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
Resumen	XIX
Introducción.....	1
Justificación.....	2
1. Estudio Preliminar	3
1.1 Problema De Investigación.....	3
1.1.1 Identificación.....	3
1.1.2 Descripción.....	6
1.1.3 Pregunta de Investigación.....	7
1.2 Delimitaciones	7
1.2.1 Conceptual.....	7
1.2.2 Cronológica.....	7
1.2.3 Geográfica.....	7
1.2.4 Alcances y resultados esperados.....	8
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Marco teórico.....	11
2.2.1 Ingeniería de métodos de producción y operación.....	11

2.2.2 Cuello de botella.....	11
2.2.3 OEE.....	12
2.2.4 Productividad.....	12
2.2.5 El método SMED (<i>Single Minute Exchange of Dies</i>).....	13
2.2.6 Capacidad de producción.....	15
2.2.7 Puesta a punto de la maquinaria.....	15
2.2.8 La metodología de las 5S.....	15
2.2.8 Distribución de planta.....	15
2.2.10 Economía de movimientos.....	16
2.2.11 Valor actual neto.....	17
2.3 Marco institucional.....	18
2.3.1 Razón social.....	18
2.3.2 Misión.....	18
2.3.3 Visión.....	18
2.3.4 Objetivos de calidad.....	18
2.3.5 Principales competidores.....	18
2.4 Marco normativo.....	19
2.5 Marco ambiental.....	19
2.6 Metodología.....	19
2.6.1. Tipo de investigación.....	19
2.6.2 Matriz metodológica.....	20
3. Diagnóstico De La Situación Actual.....	22
3.1 Estudio de tiempos.....	22
3.2 Distribución en planta.....	34

3.3 Tiempos de puesta a punto por medio de la Metodología SMED.....	45
3.4 Análisis De Hallazgos	49
3.4.1 Estudio de tiempos.	49
3.4.2 Sobre recorridos.....	50
[Kg/m]	50
3.4.3 Tiempos de puesta a punto.	50
3.5.4 Reprocesos por fatiga.	52
3.5.6 Resumen de hallazgos.	53
4. Propuestas De Solución.....	55
4.1 Tiempos de procesamiento, emplear adecuadamente la maquinaria de producción.....	55
4.2 Redistribución de planta	57
4.2.1 Alternativa 1.	59
4.2.2 Alternativa 2.	61
4.3 Tiempos de puesta a punto	65
4.4 Reprocesos por fatiga	67
4.4.1 Pausas activas.	67
4.4.2 Diseño de los puestos de trabajo para la nueva distribución.	68
4.6 Resumen de las propuestas	97
5. Costo - Beneficio De Las Propuestas	100
5.1 Costos	100
5.1.1 <i>Costos de utilización de la máquina.</i>	100
5.1.2 <i>Costos de redistribución.</i>	101
5.1.3 Costos de aplicación metodología SMED.	104
5.2 Beneficios	105

5.2.1 Beneficios económicos.....	108
5.2.2 Capacidad de procesamiento.....	105
5.2.3 Otros beneficios.....	110
5.3 Resumen costo beneficio.....	110
6. Conclusiones Y Recomendaciones.....	111
Referencias	114
Anexos.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Interpretación OEE.....	12
Tabla 2. Matriz metodológica.....	20
Tabla 3. Clasificación Método Westinghouse.....	27
Tabla 4. Holguras recomendadas por ILO.....	28
Tabla 5. Resumen del estudio de tiempos para los productos estrella.	30
Tabla 6. Capacidad de producción productos estrella.	31
Tabla 7. OEE plato	33
Tabla 8. OEE bracket.....	33
Tabla 9. OEE eje porta cuchilla.....	34
Tabla 10. Matriz carga plato.....	38
Tabla 11. Matriz distancia plato.	39
Tabla 12. Matriz carga- distancia para plato.	40
Tabla 13. Matriz carga para cuchilla.	41
Tabla 14. Matriz distancia para cuchilla.....	42
Tabla 15. Matriz carga- distancia para cuchilla.....	42
Tabla 16. Resumen Matriz Carga Distancia para los productos estrella.	43
Tabla 17. Producto en proceso, productos estrella	45

Tabla 18. Montaje Fresadora SMED etapa 1.	46
Tabla 19. Montaje cambio de troquel SMED etapa 1.	47
Tabla 20. Resumen Matriz carga distancia productos estrella.	50
Tabla 21. Tiempos de puesta a punto.	51
Tabla 22. Orden de movimientos.	53
Tabla 23. Valores de relación del SPL. Elaboración propia.....	58
Tabla 24. Matriz carga distancia alternativa 1.....	61
Tabla 25. Matriz carga distancia alternativa 2.....	63
Tabla 26. Matriz SMED antes y después.	67
Tabla 27. Operaciones cuchilla.	69
Tabla 28. Operaciones eje porta cuchilla.....	69
Tabla 29. Operaciones plato.	70
Tabla 30. Operaciones bracket.	71
Tabla 31. Operaciones válvula bico.	72
Tabla 32. Operaciones tuerca bico.	72
Tabla 33. Therbligs eficientes de los Gilbreth.....	74
Tabla 34. Therbligs ineficientes de los Gilbreth.....	74
Tabla 35. Tabla resumen del diseño de los puestos de trabajo.....	96
Tabla 36. OEE estimado para plato.....	98
Tabla 37. Variación OEE para plato.....	99
Tabla 38. Variación OEE para bracket.....	99
Tabla 39. Variación OEE para eje porta cuchilla.....	99
Tabla 40. Costos de utilización prensa hidráulica J1.	101
Tabla 41. Proveedores de materiales.	102

Tabla 42. Costos de redistribución de planta.....	103
Tabla 43. Costos de implementación metodología SMED.	105
Tabla 44. Aumento de ingresos derivados del aumento en la capacidad de producción.....	109
Tabla 45. Variación de los tiempos de procesamiento.	106
Tabla 46. Variación del inventario de producto en proceso.	108
Tabla 47. Resumen del costo beneficio. Elaboración propia	111
Tabla 48. Indicadores evaluación de proyectos.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Exportaciones Provemel 2013-2017	4
Figura 2. Diagrama de Ishikawa.....	4
Figura 3. Análisis de Pareto.....	6
Figura 4. Ubicación Satelital Provemel.....	7
Figura 5. Antes de SMED.....	13
Figura 6. Conversión SMED	13
Figura 7. Streamline SMED	14
Figura 8. Ejemplo SMED	14
Figura 9. Cuchilla	23
Figura 10. Eje	24
Figura 11. Tuerca Bico	24
Figura 14. Plato para amortiguador	26
Figura 17. Producto en proceso, eje cuchilla.....	44
Figura 18. Diagrama Montaje fresadora SMED.....	47
Figura 19. Diagrama montaje cambio de troquel.	49
Figura 20. Prensa hidráulica J1.....	56
Figura 21. Horas trabajadas y no trabajadas durante el mes de septiembre 2018 de la máquina J1	56
Figura 22. Prensa hidráulica M6.....	57
Figura 23. Diagrama de relaciones, máquinas para procesamiento de productos estrella	58
Figura 24. Alternativa 1, Distribución de Planta.....	60
Figura 25. Alternativa 2, Distribución de Planta.....	62

Figura 26. Diagrama de recorrido para los productos estrella, con la nueva redistribución de planta.....	64
Figura 27. Antes de SMED, Montaje de cambio de troquel.....	65
Figura 28. Etapa de conversión SMED; Montaje de cambio de troquel	65
Figura 29. Pernos propuestos para la estandarización.....	66
Figura 30. Después de SMED, Streamline	66
Figura 31. Puesto de trabajo estampado	76
Figura 32. Pinzas magnéticas para prensa.....	76
Figura 33. Puesto de trabajo diseño para operación de estampado	77
Figura 34. Puesto de trabajo mecanizado	78
Figura 35. Tamiz metálico.....	78
Figura 36. Rampa metálica para tuerca bico	79
Figura 37. Puesto de trabajo diseñado para operación de mecanizado	79
Figura 38. Puesto de trabajo para chuzado	80
Figura 39. Contenedor cuchillas ensambladas	81
Figura 40. Puesto de trabajo diseñado para operación de chuzado	81
Figura 41. Puesto de trabajo para tamboreado	82
Figura 42. Pala para desalimentado de tambor.....	83
Figura 43. Puesto de trabajo diseñado para operación de tamboreado.....	83
Figura 44. Puesto de trabajo para brillado.....	84
Figura 45. Soporte vertical para apoyo de antebrazo	85
Figura 46. Soporte acolchonado antebrazo.....	85
Figura 47. Puesto de trabajo diseñado para operación de tamboreado.....	85
Figura 48. Puesto de trabajo perforado.....	86
Figura 49. Pinza magnética para tomar tuercas.....	86

Figura 50. Soporte para tuerca bico con guía en el centro de la broca.....	87
Figura 51. Puesto de trabajo diseñado para operación de perforado.....	87
Figura 52. Puesto de trabajo para remachado.....	88
Figura 53. Plano para soporte de eje.....	89
Figura 54. Espuma Eva.....	89
Figura 55. Puesto de trabajo diseñado para operación de remachado.....	90
Figura 56. Puesto de trabajo para soldado.....	91
Figura 57. Puesto de trabajo diseñado para operación de soldado.....	91
Figura 58. Puesto de trabajo para lavado.....	92
Figura 59. Puesto de trabajo diseñado para operación de lavado.....	93
Figura 60. Puesto de trabajo para empacado.....	94
Figura 61. Rack para almacenamiento de productos empacados para despacho	94
Figura 62. Puesto de trabajo diseñado para operación de empacado.....	95
Figura 63. Silla ergonómica sugerida para puestos de trabajo.....	96

ANEXOS

	pág.
Anexo A. SIPOC Cuchilla para licuadora / Pica todo.	117
Anexo B. SIPOC Eje Plato.	121
Anexo C. SIPOC Bracket.	122
Anexo D. Cronograma de Proyecto.....	124
Anexo E. Troquelado 1er paso.	125
Anexo F. Mecanizado 2do paso, doblez superior.....	127
Anexo G. Mecanizado doblez Inferior.	129
Anexo H. Ensamble.	131
Anexo I. Chuzado y embalaje.	133
Anexo J. Operación 1 eje.....	135
Anexo K. Operación 2 eje.	137
Anexo L. Operación 3 eje.....	139
Anexo M. Operación 4 eje.....	141
Anexo N. Operación 5 eje.	143
Anexo O. Operación 6 eje.	145
Anexo P. Operación 7 eje.....	147
Anexo Q. Operación 1 bracket.	149
Anexo R. Operación 2 bracket.	151
Anexo S. Operación 3 bracket.....	153
Anexo T. Operación 4 bracket. Elaboración propia	155
Anexo U. Operación 5 bracket.	158
Anexo V. Operación 6 bracket.	160

Anexo W. Operación 7 bracket.	162
Anexo X. Operación 1 plato.	164
Anexo Y. Operación 2 plato.	166
Anexo Z. Operación 3 plato.	168
Anexo AA. Operación 4 plato.	170
Anexo BB. Operación 1 válvula Bico.	173
Anexo CC. Operación 2 válvula bico.	175
Anexo DD. Operación 3 válvula Bico.	177
Anexo EE. Operación 4 válvula Bico.	179
Anexo FF. Operación 5 válvula bico.	181
Anexo GG. Operación 1 tuerca Bico.	183
Anexo HH. Operación 2 tuerca Bico.	185
Anexo II. Operación 3 tuerca Bico.	187
Anexo JJ. Operación 4 tuerca Bico.	189
Anexo KK. Operación 5 tuerca bico.	191
Anexo LL. Operación 6 tuerca bico.	193
Anexo MM. Operación 7 tuerca Bico.	195
Anexo NN. Operación 1 cuchilla.	197
Anexo OO. Operación 2 cuchilla.	199
Anexo PP. Operación 3 cuchilla.	201
Anexo QQ. Operación 4 cuchilla.	206
Anexo RR. Operación 5 cuchilla.	208
Anexo SS. Operación 1 eje porta cuchilla.	211
Anexo TT. Operación 2 eje porta cuchilla.	213

Anexo UU. Operación 3 eje porta cuchilla.	216
Anexo VV. Operación 4, tamboreado.	218
Anexo WW. Operación 5 eje porta cuchilla.....	221
Anexo XX. Operación 6 eje porta cuchilla.	226
Anexo YY. Operación 7 eje porta cuchilla.	228
Anexo ZZ. Operación 1 bracket.	230
Anexo AAA. Operación 2 bracket.	234
Anexo BBB. Operación 3 bracket.	237
Anexo CCC. Operación 4 bracket.	241
Anexo DDD. Operación 5 bracket.	243
Anexo EEE. Operación 6 bracket.....	252
Anexo FFF. Operación 7 bracket.	254
Anexo GGG. Operación 1 plato.	256
Anexo HHH. Operación 2 plato.	258
Anexo III. Operación 3 plato.....	260
Anexo JJJ. Operación 4 plato.	263
Anexo KKK. Operación 1 tuerca Bico.....	268
Anexo LLL. Operación 2 tuerca Bico.	271
Anexo MMM. Operación 3 tuerca Bico.....	276
Anexo NNN. Operación 4 tuerca Bico.....	279
Anexo OOO. Operación 5 tuerca Bico.....	281
Anexo PPP. Operación 6 tuerca Bico.....	283
Anexo QQQ. Operación 7 tuerca Bico.....	285
Anexo RRR. Operación 1 válvula Bico.....	287

Anexo SSS. Operación 2, válvula Bico.....	289
Anexo TTT. Operación 3 válvula Bico.	291
Anexo UUU. Operación 4 válvula Bico.....	293
Anexo VVV. Operación 5 válvula Bico.....	295
Anexo WWW. TN, Tolerancia y TE, cuchilla.	297
Anexo XXX. Tolerancias, TN y TE, eje porta cuchilla.	298
Anexo YYY. Tolerancias, TN y TE, bracket.	299
Anexo ZZZ. Tolerancias, TN y TE, plato. Elaboración propia.....	301
Anexo AAAA. Tolerancias, TN y TE, tuerca bico.	301
<i>AnexoBBBB. Tolerancias, TN y TE, válvula bico.</i>	<i>303</i>
Anexo CCCC. Matriz carga cuchilla.....	304
Anexo DDDD. Matriz distancia cuchilla. Elaboración propia.....	304
Anexo EEEE. Matriz carga distancia cuchilla.....	305
Anexo FFFF. Matriz carga eje.....	306
Anexo GGGG. Matriz distancia eje	307
Anexo HHHH. Matriz carga distancia eje.....	308
Anexo IIII. Matriz carga plato.....	309
Anexo JJJJ. Matriz distancia Plato Elaboración propia.....	310
Anexo KKKK. Matriz carga distancia plato	311
Anexo LLLL. Matriz carga tuerca Bico Elaboración propia.....	313
Anexo MMMM. Matriz distancia tuerca Bico.	313
Anexo NNNN. Matriz carga distancia tuerca Bico.	315
Anexo OOOO. Diagrama de recorrido, cuchilla	316
Anexo PPPP. Diagrama de recorrido, eje porta cuchilla.....	317

Anexo QQQQ. Diagrama de recorrido, bracket	318
Anexo RRRR. Diagrama de recorrido, tuerca bico	319
Anexo SSSS. Montaje cambio de troquel SMED etapa 1.	320
Anexo TTTT. Diagrama cambio de Troquel SMED.....	320
Anexo UUUU. Montaje cambio de troquel SMED etapa 2.	321
Anexo VVVV. Comparación SMED	321
Anexo WWWW. Montaje afilado de buriles SMED etapa 1.....	322
Anexo XXXX. Diagrama afilado de búriles.	322
Anexo YYYYY. Montaje afilado de buriles SMED etapa 2.	323
Anexo ZZZZ. Comparación SMED afilado de búriles	323
Anexo AAAAA. Montaje de fresadora.	324
Anexo BBBBB. Gráfico etapa 1 SMED fresadora.	324
Anexo CCCCC. Etapa 2 SMED, montaje fresadora.	324
Anexo DDDDD. Patrones para cambio de fresas.....	325
Anexo EEEEE. Tabla resumen, resultados SMED.	326
Anexo FFFFF. Estadísticas Septiembre 2018, tiempos muertos J1.	327
Anexo GGGGG. Tiempos muertos J1, parte 2.....	327

RESUMEN

La propuesta de mejora en los métodos de trabajo para la reducción de los tiempos en Provemel Ltda. Proyecta evaluar, desde distintos enfoques, qué factores afectan los procesos producción, de tal manera que se puedan plantear soluciones que permitan optimizar las operaciones, con la finalidad de reducir tiempos de producción y cumplir con el cronograma de entregas establecido por la compañía.

Provemel es una organización ubicada en la ciudad de Bogotá, en la localidad los Mártires, barrio Ricaurte, dedicada a la industria metalmecánica, enfocada en tres líneas de negocio esenciales: 1) producción de elementos para autopartes; 2) productos para electrodomésticos y 3) accesorios arquitectónicos.

El presente estudio se centra, a partir de un enfoque cuantitativo del problema, en los cuatro productos estrella, los distintos tipos de maquinarias empleadas para dicha fabricación, operaciones involucradas y los tiempos de cada una. Por lo anterior, se desea abordar el problema desde las fallas en aspectos que eleven los tiempos de procesamiento y por ende los tiempos de entrega, por ejemplo, la distribución de planta actual, los métodos y sus tiempos de producción, y la puesta a punto de maquinaria.

Palabras clave: Optimización de recursos, distribución de planta, métodos y tiempos, SMED (*Single, Minute, Exchange, Dies*), reducción de tiempos de procesamiento.

INTRODUCCIÓN

La empresa colombiana Provemel Ltda., perteneciente al sector de metalmecánica, fabrica autopartes para amortiguadores de vehículos del sector automotriz en Colombia, también produce cuchillas en acero inoxidable para licuadoras y otros accesorios para electrodomésticos. Además, cuenta con una línea de negocio reciente la cual fabrica accesorios arquitectónicos. La empresa posee una larga trayectoria que data del año 1980 con 35 clientes en todo el país.

En la actualidad se han presentado cambios en la demanda por parte de los clientes, que se reflejan directamente en la situación económica de la empresa. Estos cambios se deben en parte a incumplimientos con los tiempos de entrega, pues se presentan tiempos prolongados de fabricación de los distintos productos que representan la cuota más alta de producción y repercuten en la puntualidad de las entregas que, a su vez, afectan la satisfacción del cliente. Este documento pretende generar propuestas para el mejoramiento de los tiempos de procesamiento en la organización, por medio de un plan cuya base metodológica son los estudios de métodos y tiempos.

En el capítulo 1 se muestra el proceso de diagnóstico del problema. Para ello se emplearon las herramientas: SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*), que según Mishra & Sharma (2014) se utiliza para visualizar de forma sencilla el proceso y las partes implicadas y el diagrama de Pareto se usa para encontrar los mínimos vitales y darle enfoque al estudio, e Ishikawa para determinar las causas raíz de las diferentes problemáticas identificadas previamente mediante el análisis de Pareto que inciden en el objeto de estudio. En el capítulo 2, por su parte, se presentan los antecedentes del proyecto, los marcos teórico, normativo, ambiental y la metodología de investigación. El capítulo 3 consta del diagnóstico de la situación actual de la empresa, actualmente no tiene tiempos estandarizados, por lo tanto, se realizó un estudio de tiempos, para evaluar la distribución de planta se realizaron diagramas de recorrido y matrices carga distancia, además se analizaron las distintas actividades involucradas en los cambios de montaje más frecuentes, finalmente se encontrará el análisis de hallazgos, en el capítulo 4 se encontrarán las propuestas para el desarrollo de los objetivos, formuladas a partir del análisis de hallazgos, con las operaciones de mayor duración identificadas se evaluó la posibilidad de implementar una nueva máquina al proceso, para formular alternativas de redistribución en planta, se usó un diagrama de relaciones y matrices carga distancia, para la reducción d/e tiempos de puesta a punto se usó SMED y estudio de métodos de trabajo para identificar si las operaciones se están realizando de la forma adecuada o cómo podrían mejorarse.

Por su parte, está especificado en el capítulo 5 el análisis de los costos y beneficios de las propuestas y finalmente el capítulo 6 está compuesto por las conclusiones y recomendaciones, además de las referencias usadas para el desarrollo del documento.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio es importante para la organización pues se presentan retrasos permanentes hasta de 15 días en los despachos y, por lo tanto, esto puede repercutir en la satisfacción de los clientes y el volumen de ventas. En el documento están consignados los estudios realizados para brindar una propuesta de solución integral desde la perspectiva de la ingeniería industrial, aplicando los conocimientos obtenidos durante el pregrado, en una situación real.

La investigación tiene como objetivo brindar una solución con resultados cuantificables para la empresa, únicamente en las líneas de producción referentes a los cuatro productos estrella, identificadas como aquellas con mayor impacto en las ventas anuales de los últimos años y por ende también las más importantes a nivel de utilización de la capacidad de producción de la compañía, la solución se dará en términos económicos, de tiempo de producción y por ende en el mejoramiento de los tiempos de entrega, que son la problemática definida para este trabajo de grado.

Además, esta investigación es la culminación de la etapa de pregrado para los estudiantes que desean optar para el título de Ingeniero Industrial, por lo tanto, es una oportunidad para consolidar los conocimientos y enfrentarse a una situación real, donde aparecen variables humanas que no se aprenden en la teoría. Por medio de la presente se realiza un aporte desde la universidad y la academia a la industria, donde los conocimientos del aula de clase se ponen en práctica, solucionando problemas por medio de la aplicación de las herramientas vistas en clase y otras específicas aprendidas con el fin de dar el mejor enfoque a la temática de este documento.

1. ESTUDIO PRELIMINAR

1.1 Problema De Investigación

1.1.1 Identificación.

La compañía Provemel Ltda. es una sociedad comercial con organización dedicada a la industria metalmecánica enfocada en tres líneas de negocio: la producción de elementos para autopartes, productos para electrodomésticos y accesorios arquitectónicos. La compañía fabrica partes listas para ensamble dirigidas a empresas del sector industrial automotriz y de electrodomésticos en Colombia como: Imusa, Gabriel, Grupo SEB S.A.S, entre otras. Ofrece un portafolio con segmentos definidos en cuanto a la fabricación de elementos con procesos de metalmecánica tales como: Plato para amortiguador, Bracket, Tuerca Bico, cuchillas para la licuadora, válvula pico, bisagras, chapetas y soportes los productos estrella son los que más se fabrican: Cuchilla licuadora, Eje de Cuchilla, Válvula Bico, Bracket y Plato.

Actualmente las líneas de producción están organizadas por procesos, contando con diferente maquinaria que cumple todos y cada uno de los lineamientos de funcionalidad de la compañía. Con el tiempo, la compañía ha ido ampliando paulatinamente su portafolio, contando hasta el día de hoy con más de 1.300 referencias en diferentes productos. Algunos difieren mucho en la fabricación con respecto a otros. Sin embargo, existen referencias que poseen el mismo proceso, pero varían detalles en sus dimensiones.

De acuerdo con el sitio web Veritrade, que reporta las exportaciones de las empresas de Metalmecánica en Colombia, las exportaciones de los últimos cuatro años de Provemel Ltda. Corresponden a las mostradas en la Figura 1. Se observa que entre 2013 y 2015 las exportaciones fueron superiores a USD 100.000. No obstante, las exportaciones del 2016 se redujeron ostensiblemente a menos de la mitad, sobre los USD 60.000, para finalmente, en 2017, caer súbitamente a menos de USD 5.000, lo que refleja la pérdida paulatina de clientes que ha tenido la empresa. Existen factores socio-políticos involucrados, entre ellos, la crisis venezolana que afectó de forma directa la compañía, pues tenía varios clientes importantes del vecino país que se retiraron del mercado.

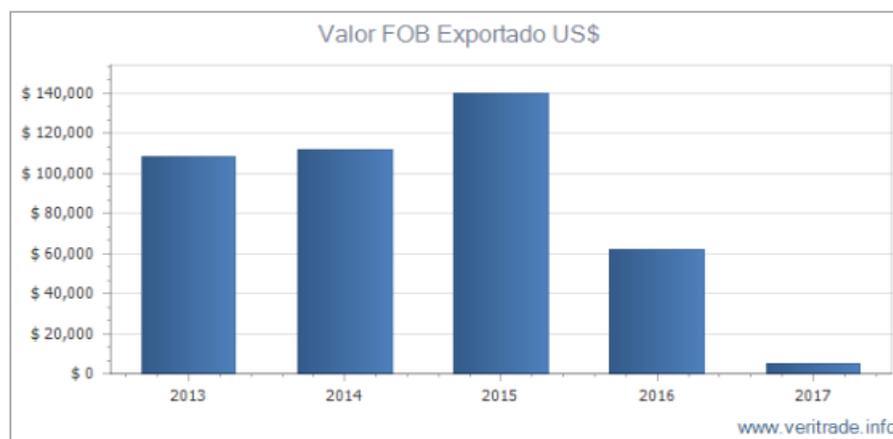


Figura 1. Exportaciones Provemel 2013-2017

Fuente: (Veritrade, 2018)

Al día de hoy se presenta un déficit en el cumplimiento de las entregas a los clientes con demoras hasta de 15 días por retrasos en la producción. Por lo tanto, la baja en ventas puede ser también consecuencia del incumplimiento que presenta la empresa en sus entregas por retrasos en la producción.



Figura 2. Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, la compañía está interesada en mejorar los tiempos de producción, priorizando el estudio en aquellos artículos que poseen mayor demanda.

Por medio del Diagrama de Ishikawa o diagrama de causa – efecto (Ver figura No.2), se identificaron las causas de los retrasos en el procesamiento. Este gráfico fue

desarrollado por el licenciado en química Japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943 y consiste en representar gráficamente el esqueleto donde la cabeza es el problema a analizar y las espinas las causas SPC Consulting Group (2013).

Construido a partir de la entrevista Tavera & Picón (2018, abril). [Entrevista con Juan Carlos Malaver, Gerente de Recursos Humanos de la empresa Provemel Ltda.] y las observaciones en planta, se identificaron retrasos por tiempos prolongados de puesta a punto de la maquinaria para cambiar de un producto a otro y defectos en lotes de producción por ausencia de listas de chequeo o supervisión para verificar la conformidad de los productos en cada operación, lo que al final implica reprocesos como eliminado de rebaba, que consiste en retirar bordes y filos después de procesos de troquelado, e inspecciones al 100%, donde se revisa cada producto para verificar que cumpla el estándar de calidad requerido por el cliente. Estas actividades repercuten directamente en los tiempos de entrega y también causan pérdidas patrimoniales para la compañía en productos desechados por no cumplir los estándares de calidad.

Según las causas identificadas en el Ishikawa, se presentaron problemas de medición, capacitación, seguimiento del proceso, falta de estandarización de algunos procesos y largos tiempos de puesta a punto, además de producto no conforme (que no cumple con estándar de calidad definido por la compañía) que por errores en el proceso es desechado, generando pérdidas económicas, retrasos que impactan los tiempos de entrega de los pedidos a los clientes y contaminación en el medio ambiente. Por lo anterior, se optó por centrarse en el aspecto relacionado con los métodos de trabajo a fin de mejorar los procesos de puesta a punto, además, verificar los procesos de puesta a punto y trabajar en éstos para minimizar los tiempos de ocio de las máquinas, todo esto con el fin de reducir los tiempos de procesamiento y a su vez reducir el tiempo actual de *lead time*.

Ahora bien, por medio de los volúmenes de ventas, suministrados por la empresa en su consolidado anual, se definieron los productos con mayor impacto en la producción, empleando el análisis de Pareto. Este método está “basado en la ley del 80-20, 80% de las consecuencias derivan del 20% de las causas” (Universidad de Vigo, 2009). Para esto, se inició con la identificación del número de ventas de cada uno de los productos terminados por año. A partir de ello, se trazó el diagrama (Ver Figura 3), encontrando que los productos Cuchilla licuadora, Eje de cuchilla, Válvula Bico y Bracket constituían el 89% de la producción de la compañía. Por ello, dichos productos serán el objeto de estudio. Es importante aclarar que el “plato”, por su parte, se encuentra por fuera de este porcentaje señalado. Sin embargo, la compañía lo considera un producto estrella, por lo cual se incluirá en el estudio.

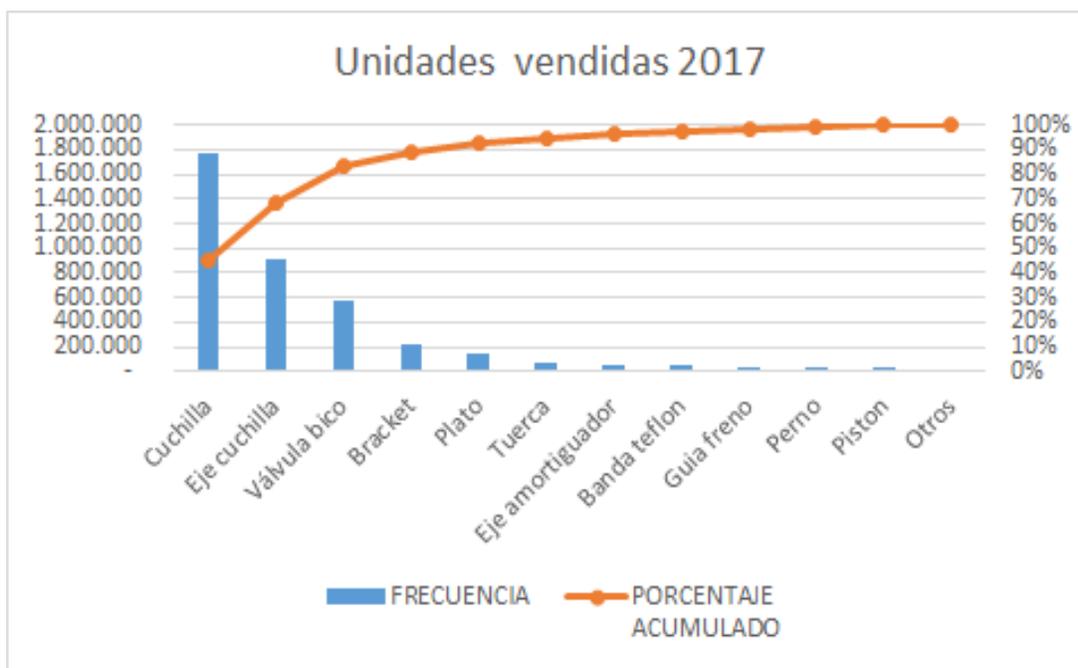


Figura 3. Análisis de Pareto

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, por medio del diagrama SIPOC (*suppliers, inputs, process, outputs, customers*) de Cuchilla (Ver Anexo A), SIPOC de Eje de Cuchilla (Ver Anexo B), SIPOC de Plato (Ver Anexo C) y SIPOC de Bracket (Ver Anexo D), se identificaron las diferentes operaciones de producción, tales como torneado, fresado, tamboreado y troquelado, entre otras, para los productos que hacen parte del estudio. Así mismo, se identificaron qué proveedores y clientes están involucrados en cada operación.

La problemática planteada se ve reflejada en los retrasos en los tiempos de despacho que alcanzan en promedio 15 días debido a fallas en los procesos de producción.

1.1.2 Descripción.

La propuesta es formular mejoras en los métodos de trabajo en el área de producción de Provemel Ltda. que pretende optimizar las operaciones para reducir tiempos de procesamiento y cumplir con las fechas de entrega que se establecen de forma conjunta con los clientes.

El estudio se centró en los cuatro productos estrella y las máquinas empleadas para su fabricación, las operaciones involucradas en su elaboración y los tiempos de cada operación tomando un enfoque cuantitativo del problema, estos productos estrella fueron definidos por medio del diagrama de Pareto, donde se analizó la producción de los años

2017 y 2018, para evaluar entre los 1300 productos del portafolio, cuales son los que ocupan la mayor parte de la capacidad de producción, por otra parte, se usó un diagrama de espina de pescado, para identificar las posibles causas de los retrasos y trabajar en ellas por medio de herramientas de ingeniería industrial, tales como *SMED*, estudio de métodos y tiempos, economía de movimientos, redistribución de planta y diseño de los puestos de trabajo.

1.1.3 Pregunta de Investigación.

¿Cómo mejorar los métodos de trabajo en el área de producción para reducir los tiempos de procesamiento en la empresa Provemel Ltda.?

1.2 Delimitaciones

1.2.1 Conceptual.

La presente investigación se encuentra aplicando las siguientes teorías: estudio de métodos, tiempos y movimientos, estudio de métodos de trabajo para el análisis de operaciones, *SMED (Single, Minute, Exchange of Dies)* y distribución de planta.

1.2.2 Cronológica.

El proyecto se realizó a lo largo de 11 meses comprendidos entre enero de 2018 a noviembre de 2018.

1.2.3 Geográfica.

Carrera 28 No.7-64 Ricaurte, Bogotá, Colombia, localidad de los Mártires.



Figura 4. Ubicación Satelital Provemel

Fuente: Elaboración propia

1.2.4 Alcances y resultados esperados.

Se desarrollaron propuestas de mejora en métodos de trabajo y procedimientos estandarizados de acuerdo a la metodología SMED, además de una nueva distribución de planta acorde con las necesidades de producción actuales y que minimice los sobre recorridos en las operaciones, que reduzca de forma sustancial los tiempos de producción actuales.

Este proceso se desarrollará en las instalaciones de la empresa y con apoyo de la organización. Asimismo, el documento final será entregado a la Gerencia de la compañía para que evalúen la implementación de las propuestas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar una propuesta de mejora en los métodos de trabajo en el área de producción para la reducción de los tiempos de procesamiento en la empresa Provemel Ltda.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Diagnosticar el estado actual del proceso de fabricación de los cuatro productos con mayores ventas en Provemel Ltda. con respecto a los métodos y tiempos para identificar las fallas en los métodos de trabajo, falencias en la distribución de planta y en la organización de los puestos de trabajo.

- Determinar métodos y estrategias que permitan mejorar los métodos y el diseño de los puestos de trabajo y la distribución de planta en el área de producción a fin de reducir los tiempos de procesamiento.

- Evaluar los costos y los beneficios de la propuesta seleccionada para mostrar el impacto en la empresa.

2. Marco De Referencia

2.1 Antecedentes

En este capítulo se presentan trabajos de grado cuya temática fuese similar a la de este proyecto de grado, para usarse como referencia en la construcción de la estructura y contenido del documento. A continuación, se muestran de forma resumida, tres proyectos, empezando por el nombre de la propuesta, cuál era su objetivo, los hallazgos y qué propuestas se realizaron para solucionar la problemática encontrada.

En la propuesta de mejora de métodos, movimientos y tiempos de Otero & Vega (2014) se realizó un estudio del proceso productivo y servicios, cuando se realiza una transformación de insumos, materia prima, una orden de pedido, encontrando que la compañía de producción de chaquetas FORMOSA S.A, cuenta con una falla con respecto a la organización de los materiales y equipos de trabajo, por ende, mala ubicación de las piezas que llegan para ser confeccionadas.

Otero & Vega (2014), con base en lo anterior, recomendaron realizar una reorganización de los procesos de producción de manera que se puedan reducir las operaciones de transportes y de esa manera reducir el tiempo del ciclo de confección de chaquetas, al poner en marcha la propuesta de balance de línea para la distribución equitativa de las operaciones y mejor fluidez del trabajo.

En cuanto al estudio de métodos y tiempos, en la “Propuesta de mejora en la línea de producción de filtros de aire para vehículos pesados en la empresa Premium Filters Ltda., ubicada en Bogotá” elaborada por Cañon, Martínez, & Montaña (2013) se buscaba estudiar la línea de producción para encontrar cuellos de botella. Sin embargo, el estudio tuvo que iniciar desde cero pues la empresa no contaba con ninguna clase de documentación con respecto al tema de estudio. No obstante, después de la toma de los tiempos se identificó que la operación de mayor duración variaba según la programación mensual de la empresa. Como primera medida se levantaron los procesos de la línea de producción para su análisis y fue necesario escribir un manual de los procedimientos apoyado con diagramas de operaciones y procesos. A partir de las tomas de tiempos se parametrizan las operaciones.

Después por medio de una herramienta de programación en Microsoft Excel, se simularon programaciones mensuales de producción y con ellas se identificaron las operaciones de mayor duración, para finalmente proponer alternativas solución como la implementación de dispositivos que redujeron el tiempo de operaciones manuales, relevos entre los operarios para aumentar la capacidad de producción y así reducir el tiempo de procesamiento en 11.3 horas, aumentando, como consecuencia, la productividad y la capacidad real de la planta.

En la “Propuesta de rediseño de la distribución de planta de producción en la empresa PLECARTON SAS” elaborada por Villegas & Santander (2011) se realizó un estudio que arrojó como resultado que la mayoría de los problemas presentes en la línea de producción

se debían a la distribución de planta pues no contaba con un área de almacenamiento de materia prima. Esa carencia se veía reflejada en desórdenes, obstrucción en los pasillos de la planta y condiciones inseguras para el personal que no contaba con el espacio adecuado para operar. Por lo tanto, a través de la planeación sistemática de la distribución se produjeron tres *layouts* (distribuciones en planta) que cumplieran con los requerimientos de la empresa. Conforme a lo anterior, a partir del criterio de métodos de evaluación de adyacencia, evaluación por departamento y por costo de desplazamientos de materia prima, se seleccionó el más adecuado para la organización.

De acuerdo a la síntesis de cada trabajo de grado anteriormente presentado, se usaron diferentes metodologías para la solución de la problemática definida, por lo tanto, se puede deducir que no existen soluciones únicas para los contratiempos que se presentan en una empresa, y adicionalmente las empresas funcionan como una máquina cuya efectividad depende de cada una de las partes, cada cambio que se realiza en un proceso afecta los demás, negativa o positivamente.

2.2 Marco teórico

A continuación, se explicarán los conceptos que sirvieron como fundamento para el desarrollo de la investigación.

2.2.1 Ingeniería de métodos de producción y operación.

Según Niebel & Freivalds (2009) la ingeniería de métodos es una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o reducir el costo por unidad de producción. Por tanto, busca la mejora de la productividad usando la capacidad tecnológica, a través del análisis de tiempos durante el desarrollo del proceso, en busca de oportunidades de ahorro en tiempos y operaciones. La finalidad de las operaciones es controlar el número de productos que se pueden producir en una determinada máquina, teniendo grandes resultados sin que esto implique costos adicionales en la producción, esto se da con una planeación adecuada definiendo el número de actividades por cada operario sin que en ellos presenten algún tipo de fatiga, además se agregan holguras para incluir en los tiempos estándar aquellas demoras inevitables.

De acuerdo al planteado por Chase, Jacobs, & Aquilano (2009) para que el método funcione son necesarios varios factores tales como: alta calidad del proceso productivo, relaciones sólidas con los proveedores que minimicen las demoras entre la orden de pedido de materia prima y su despacho a la planta, además de una demanda de producto previsible.

2.2.2 Cuello de botella.

Según Ritzman & Krajewski (2000) los cuellos de botella son las operaciones que tienen la capacidad efectiva más baja entre todas las de la instalación de la planta de

producción y que por lo tanto limitan la salida de productos del sistema de producción. Lo anterior solo aplica para las máquinas y operaciones cuya velocidad retrasa la producción y no se puede modificar.

2.2.3 OEE.

Según Salazar (2016) efectividad global de equipos (*Overall, Equipment, Effectiveness*), es un indicador de eficiencia que representa la capacidad real de una máquina, teniendo en cuenta factores como la cantidad de piezas dañadas por lote fabricado, el rendimiento del proceso y la disponibilidad de los equipos.

De acuerdo con Touron (2016) en las empresas existe la necesidad de cuantificar productividad y eficiencia, puesto que solo lo que se mide se puede gestionar y mejorar, por lo que este indicador es vital para medir la eficacia real de cualquier proceso.

Finalmente, el criterio de evaluación para el *OEE*, según algunos expertos es:

Tabla 1. Interpretación *OEE*

OEE	Valoración	Descripción
0% - 64%	Deficiente (inaceptable)	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
65% - 74%	Regular	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% - 84%	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% - 94%	Buena	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95% - 100%	Excelente	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Fuente: Salazar (2016)

2.2.4 Productividad.

Según García (1997) la productividad es el resultado de dividir el total de factores de salida, como bienes, entre los de entrada, como recursos; en el que la salida representa el

producto que se entrega y la entrada supone los insumos o materiales que fueron transformados para la elaboración del producto. Lo anteriormente mencionado en la organización es un factor clave para la transformación de productos, puesto que desde el factor humano apunta a alcanzar los objetivos de la organización como alta calidad del producto terminado, por medio de procedimientos que el operario lleva a cabo en la transformación de la materia prima.

2.2.5 El método SMED (*Single Minute Exchange of Dies*).

De acuerdo a Carbonell (2013), el método SMED “es una técnica para reducir los tiempos de cambio de lote, aquellos que se requieren cuando se remueven las piezas de un montaje para poner uno nuevo y realizar los ajustes necesarios para la manufactura del nuevo producto.” Las demoras en este proceso de cambio pueden afectar los tiempos críticos de espera. Adicionalmente, estos retrasos producen costos imprevistos vinculados al uso de más horas hombre de las necesarias, costos de almacenamiento de producto en proceso y costos de almacenamiento de materias primas. Por tanto, según Mihok, Kadarova, Demečko, & Ružinský (2015), el SMED es un proceso de cambio con unos pasos definidos que apunta a externalizar tanto como sea posible el mayor número de elementos, empezando por la separación, que es la etapa en la que se eligen los elementos que pueden ser ejecutados con un pequeño cambio o sin ningún cambio mientras la máquina sigue operando, estos pasan a ser identificados como “externos”, tal como lo muestra la siguiente figura No. 5



Figura 5. Antes de SMED.

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es convertir, y consiste en examinar los elementos restantes para evaluar si pueden modificarse de alguna forma para ser externos o si pueden eliminarse. Después de obtener la lista deben priorizarse los elementos con mayor impacto en el costo – beneficio. (Mihok, et al. 2015) (Ver figura No.6).

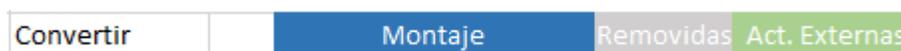


Figura 6. Conversión SMED

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, “el *Streamline* revisa los elementos restantes del paso de conversión para simplificarlos o cambiarlos con miras a completarlos en menos tiempo. Se deben priorizar

elementos internos que apoyen la meta principal de reducción de tiempo de cambio de lote”. (Mihok, et al. 2015).

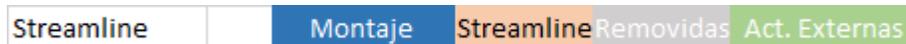


Figura 7. Streamline SMED

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo planteado por Carbonell (2013), el resultado del SMED es una planta flexible, veloz y por ende capaz de satisfacer la demanda de los clientes actuales.

Un ejemplo de SMED es presentado a continuación. En él es fácilmente observable el resultado de la aplicación de esta técnica en una empresa manufacturera, muestra diferentes escenarios, con el número de clientes y si es posible realizar el cambio o no (Ver figura 8).



Figura 8. Ejemplo SMED

Fuente: (Carbonell, 2013)

Para concluir, entre los beneficios del SMED se encuentran la estandarización de procesos para hacerlos rápidos y seguros para los trabajadores, reduciendo reprocesos por productos defectuosos, reducción del lote de producción que contribuye a la flexibilidad de la planta frente a los cambios de la demanda, reducción en los plazos de entrega y disminución del producto en proceso, por lo tanto más espacio disponible en la planta, además de la transformación del tiempo improductivo en productivo, reduciendo costos derivados de los tiempos de ocio de máquinas y hombres (Mihok et al., 2015).

2.2.6 Capacidad de producción.

La capacidad de producción, según Muñoz (2009), es el número promedio de unidades producidas que salen de un sistema por unidad de tiempo. La administración adecuada de este flujo incide directamente en la rentabilidad de la empresa.

2.2.7 Puesta a punto de la maquinaria.

La puesta a punto es el paso en el proceso de ingeniería y producción de la herramienta en el que ésta se monta por primera vez en la prensa en un intento inicial de producir una pieza. A continuación, durante la misma puesta a punto, la herramienta de conformado recibe un extenso y preciso ajuste. Este ajuste es un largo, costoso e imprescindible paso en el camino de una definición exitosa de la producción de una herramienta de calidad (Autoform, 2018, para 1).

2.2.8 La metodología de las 5S.

Conforme a Gillet & Sena (2014), el sistema de las 5S es una manera de aprender de a mantener el orden y la limpieza. Recibe el nombre por las 5 primeras letras de las palabras japonesas que caracterizan las operaciones que deben efectuarse para mantener todo el tiempo un espacio de trabajo en perfecto estado.

- Clasificar (seiri)
- Poner en orden (seiton)
- Limpiar (seiso)
- Estandarizar (seiketsu)
- Sostener (shitsuke)

Según Dorbessan (2006), la clasificación se enfoca en remover todos los artículos innecesarios del sitio de trabajo y dejar sólo los elementos esenciales, poner en orden significa arreglar los artículos necesarios de manera que sea fácil encontrarlos y usarlos. Una vez que se remueve el desorden, la limpieza asegura el aseo y la pulcritud posteriores, después de implantar los tres primeros pilares, la estandarización sirve para mantener el orden y el enfoque consistente en el aseo y los métodos. Por último, sostener implica mantener el proceso completo de las 5S de manera regular.

2.2.8 Distribución de planta.

Conforme a García (2005) la distribución de planta es la colocación física de los medios industriales tales como, maquinaria, equipos, trabajadores, espacios requeridos para el movimiento de materiales y su almacenaje, además de conservar el espacio necesario para servicios auxiliares. El objetivo de una distribución bien planeada es reducir costos de fabricación, reducción de riesgos para la salud, incremento de la

seguridad, optimización del uso del espacio disponible, incremento de la producción, maximización del uso de maquinaria, mano de obra y servicios, reducir la cantidad de producto en proceso, hacer más fácil la supervisión, entre otros.

Según el Grupo INGCO (2011) las decisiones de distribución de planta son uno de los aspectos clave que determinan la eficiencia de las operaciones a largo plazo. Las distribuciones tienen numerosas implicaciones estratégicas, ya que establecen prioridades competitivas en una organización, con respecto a la capacidad, los procesos, la flexibilidad y los costos. De acuerdo a Chase (2009) existen varios tipos de distribución de planta tales como: la distribución por funciones, que agrupa funciones o equipamientos similares, la distribución de flujo de trabajo, en la que los equipos están ordenados de acuerdo a los pasos de la fabricación de una pieza, la celda de manufactura que reúne distintas máquinas para trabajar en productos con procedimientos similares, dedicada a una gama limitada de productos y, por último, existe la distribución por proyecto, en la que el producto está fijo debido a características especiales en su peso o tamaño y el equipo de producción va a él.

2.2.10 Economía de movimientos.

Los principios de economía de movimientos están basados en la comprensión de la mente y el cuerpo humano, “Los Principios de Economía de Movimientos tienen la función de reducir la fatiga, mejorar las condiciones de trabajo, disminuir tiempos de ejecución y hacer más eficientes las operaciones” (Ponce, 2018) fueron diseñados inicialmente por Taylor, quien se enfocó en reducir los tiempos de las operaciones con fin de lucro para las empresas, buscando que los trabajadores fuesen más eficientes para que tuvieran la capacidad de producir más dinero a la compañía, por su parte Frank Bunker y Lilian Moller, ampliaron este análisis pero teniendo en cuenta también la comodidad y el bienestar del trabajador, pueden clasificarse en 3 grandes grupos:

- Utilización del cuerpo humano
- Distribución del lugar de trabajo
- Modelo de las máquinas y herramientas.

Dentro del primer grupo encontramos principios basados en la simetría del cuerpo, los ángulos en los que deben trabajar los músculos y el tipo de movimiento que debe efectuarse con el fin de evitar o reducir la fatiga a niveles mínimos:

Las dos manos deben comenzar y finalizar los movimientos a la vez.

- Las manos nunca deben estar inactivas las dos manos al tiempo excepto en tiempos de descanso.
- Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente, en direcciones opuestas y simétricas.

- Los movimientos deben ser del menor orden posible.
- Debe aprovecharse el impulso si favorece al trabajador, pero debe reducirse al mínimo si hay que contrarrestarlo con esfuerzo muscular.
- Son mejores los movimientos continuos y curvos, en lugar de movimientos restos con cambios bruscos de dirección.
- Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los controlados.
- El ritmo es importante, por lo tanto, el trabajo debe diseñarse con un ritmo fácil y natural de ser posible.
- El trabajo debe estar diseñado de forma que los ojos se mueven dentro de límites cómodos y que no sea necesario a menudo el cambio de foco.

Por su parte los principios con respecto al diseño de herramientas y máquinas son:

- Debe evitarse la actividad sostener por cualquiera de las manos, pues las piezas pueden sujetarse con una plantilla, soporte o brazo accionado con el pie.
- Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas.
- Cuando cada dedo realiza un movimiento específico, debe distribuirse la carga de acuerdo a la capacidad de cada uno.
- Los mangos de manivelas, destornilladores grandes, entre otros, deben diseñarse para que la mayor superficie posible esté en contacto con la mano.
- Las palancas, barras y volantes deben posicionarse de tal forma que pueda ser manipulador con un cambio mínimo de posición del cuerpo.

(Gómez, 2014)

2.2.11 Valor actual neto.

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable (ESAN, 2017).

Por su parte, el índice de beneficio costo, de acuerdo a Jiménez, Espinosa, & Fonseca (2007), es un complemento del valor actual neto y da como resultado de dividir los flujos positivos descontados en el año entre los flujos negativos descontados del mismo año, siendo este, por lo general, la inversión inicial. Por lo tanto, el índice representa la contribución económica de un proyecto al patrimonio inicial de la empresa.

2.3 Marco institucional

2.3.1 Razón social.

Provemel Ltda. Proveedora Metalmecánica

Nit: 860.077.649-0

2.3.2 Misión.

“Somos una empresa dedicada a la fabricación y venta de productos metalmecánicos de calidad, que, a través de la experiencia de su fortaleza laboral, calidad en sus productos y la buena imagen de la empresa en el mercado, busca generar rentabilidad a sus inversionistas y bienestar a sus colaboradores.” (Cartilla de inducción, 2017, pág. 2).

2.3.3 Visión.

“En el año 2018 Provemel Ltda. Tendrá una rentabilidad superior al 8% apoyado aumentando su participación en el mercado nacional, apoyado en alianzas estratégicas para la comercialización y desarrollo de nuevos productos PV, manteniendo su sistema de gestión de la calidad certificado.” (Cartilla de inducción, 2017, pág. 1).

2.3.4 Objetivos de calidad.

- Satisfacer y superar las expectativas de sus clientes.
- Mantener su sistema de gestión de calidad certificado.
- Incrementar los niveles de productividad optimizando los recursos disponibles.

(Cartilla de inducción, 2017, Pág. 2).

2.3.5 Principales competidores.

Provemel Ltda. Manifiesta que no tiene identificados sus competidores en la elaboración de sus productos, pero “de acuerdo a las cifras del IV Congreso Internacional de la Construcción con Acero EAC de 2013, la industria siderúrgica en Colombia está conformada por más de 1600 empresas” Portafolio, (2014). Aunque estas empresas no fabrican los mismos artículos que la organización, debido a que ésta elabora partes para ensamble, existe la posibilidad de que entrarán a competir con Provemel en caso de que tomaran la decisión de hacerlo.

2.4 Marco normativo

La compañía cuenta con certificación en la norma NTC ISO 9001:2008, la cual se encuentra encaminada a la calidad en el servicio al cliente (ICONTEC, 2015b).

Además, un sistema de producción basado en las normas ISO-TS 16949 obligatoria para todos los tipos de compañías proveedoras del sector automotriz, consiste en la mejora continua para la prevención de errores y reducción de desechos, y QSB (Sistema de la gestión de la calidad automotriz), las cuales aportan metodologías complementarias y estandarizadas para mejorar el Sistema de Gestión de Calidad para la producción en serie y de piezas de recambios en la industria automotriz (ICONTEC, 2015c).

2.5 Marco ambiental

Los PGIRS (Planes de gestión integral de residuos sólidos), deben centrarse en los residuos no peligrosos: aprovechables, no aprovechables y especiales. En su planificación, la compañía debe considerar como mínimo los actores y las responsabilidades (Marín & Maldonado, 2015). En Provemel los residuos de aluminio son recolectados en un cuarto, pasan por una centrífuga para separar los lubricantes del material sólido para ser vendidos a otras compañías, las cuales realizan una fundición del aluminio para reutilizarlos en la elaboración de otros productos. El aceite, por su parte, es almacenado en un barril y dispuesto a otras compañías que lo incorporan en otros procesos. La compañía se encuentra preparándose para la certificación “ISO 14001 del 2015”, que es la norma internacional de sistemas de gestión ambiental, que ayuda a identificar y gestionar los riesgos ambientales producidos por una compañía con sus prácticas de manufactura habituales (ICONTEC, 2015a), por la cual se quieren mejorar la recolección de residuos, emisión de gases, vertimientos de aceite, para su deposición final sea correctamente y tenga el menor impacto ambiental.

2.6 Metodología

2.6.1. Tipo de investigación.

En este estudio se desarrollará una investigación cuantitativa con enfoque deductivo, que según Hernández, Fernández, & Baptista (2014, pág. 13) es aquel estudio en el que se plantea el problema definiendo primero el objetivo (lo que se quiere hacer) y la pregunta de investigación (lo que se quiere saber), posteriormente se busca una teoría que explique de forma precisa el fenómeno de estudio, a partir de allí se recolecta información y se formulan diferentes hipótesis para ser sometidas a prueba.

- Fuentes primarias: Observaciones directamente en la empresa, entrevista.
- Fuentes secundarias: Libros, artículos y página web de la empresa.
- Fuentes terciarias: Análisis, resúmenes y trabajos de grado sobre la temática.

2.6.2 Matriz metodológica.

Para el cumplimiento de los objetivos de investigación se desarrolló la Matriz Metodológica (Ver Tabla 2), donde se describen las actividades necesarias para la elaboración del proyecto y las herramientas de Ingeniería Industrial que se usaron para cada una.

Tabla 2. Matriz metodológica.

Objetivo	Herramientas	Actividad
<p>Diagnosticar el estado actual del proceso de fabricación de los cuatro productos con mayores ventas en Provemel Ltda. con respecto a los métodos y tiempos para identificar las fallas en los métodos de trabajo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagramas de operaciones para cada producto. 2. Lista de análisis de operaciones. 3. Diagrama de distribución. 4. Análisis de cuello de botella. 5. Medidas de capacidad de producción de los procesos. 6. Diagrama de relaciones y espacios. 7. Valoración de relaciones. 8. Metodología SMED. 9. Estudio de tiempos de los productos estrella. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visitar la planta de producción para recolectar información acerca del proceso productivo de cada uno de los productos objeto de estudio. 2. Identificar los cuellos de botella y los métodos de trabajo en cada línea de producción correspondiente a los cuatro productos estrella. 3. Estudiar los métodos y tiempos de procesamiento para establecer medidas de capacidad de producción en los procesos. 4. Realizar mediciones de los puestos de trabajo para definir la distribución de planta. 5. Analizar las actividades de puesta a punto de las máquinas para revisar los tiempos de la misma. 6. Toma de tiempos de los productos estrella, tiempo normal, Tiempos estándar y Holguras de acuerdo al método Westinghouse para determinar la calificación de velocidad de los operarios.

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 2.

Objetivo	Herramientas	Actividad
<p>Determinar métodos y estrategias que permitan mejorar los métodos y el diseño de los puestos de trabajo y la distribución de planta en el área de producción a fin de reducir los tiempos de procesamiento.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagrama de operaciones propuesto. 2. Propuesta SMED. 3. Parametrización de operaciones. 4. Herramientas de configuración de planta. 5. Análisis de movimientos y métodos. 6. Estrategia para la reducción de los cuellos de botella. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analizar los datos obtenidos en el diagnóstico. 2. Reducir los tiempos de la puesta a punto de la maquinaria. 3. Identificar oportunidades de mejora.
<p>Cuantificar costos y beneficios de la propuesta seleccionada para mostrar el impacto de las propuestas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ponderación económica. 2. Índice de beneficio- costo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuantificar los costos de una redistribución de planta, implementación de maquinaria en los casos que sea necesaria para estandarizar procesos, capacitaciones, implementos diversos para la creación de nuevas listas de chequeo. 2. Estimar el beneficio por el incremento estimado de la capacidad de producción debido a las mejoras propuestas.

Fuente: Elaboración propia

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se enuncian las diferentes herramientas usadas para identificar la situación actual de la organización a nivel de procesos, métodos y distribución de planta, además de los hallazgos.

Inicialmente, se programó una reunión con el gerente general para solicitar consentimiento para la realización del trabajo de grado. Para comenzar, el Gerente manifestó la necesidad de minimizar tiempos de procesamiento para mejorar el cumplimiento de su cronograma de entregas, Tavera & Picón (2018, abril). [Entrevista con Juan Carlos Malaver, Gerente de Recursos Humanos de la empresa Provemel Ltda.]. A partir de ese momento el gerente de recursos humanos realizó el acompañamiento para conocer aspectos generales de la empresa, su planta de producción y las diferentes oportunidades de mejora identificadas por ellos mismos dentro de su labor diaria. Sin embargo, para delimitar el problema se usaron tres herramientas de diagnóstico: diagrama de Pareto, para definir los productos en los que se iba a centrar el estudio de tiempos, diagrama de Ishikawa para establecer los diferentes factores que podrían afectar la problemática directamente, y, finalmente, una tabla SIPOC para realizar un reconocimiento de las diferentes operaciones implicadas en la elaboración de cada uno de los productos estrella.

Una vez identificado el problema, para el diagnóstico de la situación actual del proceso se establecieron 3 enfoques, tiempos de procesamiento, distribución de planta y tiempos de puesta a punto.

3.1 Estudio de tiempos

La compañía actualmente tiene un ingeniero mecánico designado desde julio de 2018 para trabajar los tiempos muertos derivados de los cambios de montaje. Sin embargo, en cuanto a los tiempos de operación, no se tienen datos históricos y los valores de referencia han sido establecidos verbalmente por los operarios con mayor antigüedad para las distintas máquinas.

En este sentido se procedió a realizar un estudio de tiempos sobre los productos estrella definidos anteriormente, a continuación, se describen los productos y el proceso de cada uno:

- **Cuchilla**

La Cuchilla es un subproducto (es una parte de un producto terminado) del grupo SEB de Colombia, utilizada para las licuadoras, los pica todo, entre otros. Este proceso de elaboración consta del corte de la cuchilla mediante una troqueladora, para su posterior doblez interno y externo, luego se dirige al segundo piso, al área de remachado y chuzado para el ensamble junto con el eje porta cuchilla.



Figura 9. Cuchilla

Fuente: Elaboración propia

· **Eje Porta Cuchilla**

El Eje de Cuchilla es el complemento de la cuchilla y su función principal es hacer girar la cuchilla sin que ésta se desarme. Los procesos de fabricación de ésta son: corte por medio de torno automático, de ahí el producto pasa a rectificado del eje, luego a fresado, después es ingresada al tambor eliminando en este el aceite y los filos de los procesos anteriores, posteriormente se realiza el laminado de la rosca, rectificado y, por último, el brillado, para finalmente llevarla para el ensamble en el segundo piso.



Figura 10. Eje

Fuente: Elaboración propia

Tuerca Bico

La Tuerca Bico es un subproducto del grupo SEB de Colombia, utilizada en las ollas a presión. Su función es dejar salir el aire de la olla. Su proceso de fabricación comienza con el corte mediante torno automático, seguidamente es pasada al lavado para retirar las impurezas del corte, posteriormente, es llevada al perforado de la tuerca, luego al mecanizado 2 paso, más adelante al avellanado y finalizando con el empacado.



Figura 11. Tuerca Bico

Fuente: Elaboración propia

Válvula Bico

La Válvula Bico es un subproducto del grupo SEB de Colombia, utilizada en las ollas a presión, es el complemento de la Tuerca Bico. Su función es dejar salir el aire de la olla. Su proceso de fabricación comienza con el corte mediante torno

automático, seguidamente es pasada al lavado para retirar las impurezas del corte, posteriormente, es llevada al laminado de rosca, luego al perforado y finalizando con el empackado.



Figura 12. Tuerca Bico

Fuente: Elaboración propia

· **Bracket**

El Bracket es un producto para Gabriel de Colombia. Es utilizado en los amortiguadores de los automóviles. Su proceso de fabricación comienza en el corte interno, seguido de doblado interno en una troqueladora, posteriormente se realiza el corte externo, seguidamente, se realiza el estampado, después el conformado, luego el ensamble del bracket interno y externo, la soldadura y termina con el punzonado de agujeros.



Figura 13. Bracket interno y externo

Fuente: Elaboración propia

Plato

El Plato también es un producto para Gabriel de Colombia. Es utilizado en los amortiguadores de los automóviles. El proceso de fabricación comienza con el corte de una lámina en troqueladora, posteriormente se realiza el embutido y conformado en otra máquina troqueladora, luego sigue al punzando de agujeros, posteriormente al estirado de pestaña y, por último, se realiza una inspección de calidad de plato.



Figura 124. Plato para amortiguador

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un estudio de tiempos para el cual, los operarios fueron informados de forma verbal y en compañía del supervisor, con relación a la toma de datos y el objetivo del estudio. A su vez, para cada análisis se definieron las actividades observando las tareas desarrolladas por el operario, además, separando las operaciones mecánicas de las manuales. Una vez separadas las operaciones que componen cada actividad, se analizaron los movimientos realizados por los operarios al realizar cada actividad, se procede al cronometrado de los tiempos de dichas operaciones, por medio del método de regreso a cero (Niebel & Freivalds, 2009, pág.358-360). (Ver Tabla 2), donde T_o es el tiempo observado de cada actividad.

Inicialmente, se realizó una prueba piloto con 15 observaciones de cada una de las operaciones de los productos estrella, a partir de estas observaciones se calcula el número de repeticiones que se deben tomar para cada operación a través de la ecuación 1, considerando un nivel de confianza del 90%, y una precisión del 10%, parámetros pautados en conjunto con la empresa.

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{X}} \right)^2$$

Ecuación 1. Número de observaciones requeridas

Fuente: Niebel & Freivaldis (2009, pág. 342)

Dónde:

t = distribución t de student correspondiente al nivel de confianza y grados de libertad ($C = 90\%$ y grados de libertad = 14)

s = desviación estándar

k = fracción aceptable de \bar{X}

\bar{X} = promedio

Después de obtener el número de observaciones requeridas, se procedió con la recolección de datos faltantes en las diferentes máquinas involucradas en el proceso de fabricación de los cuatro productos estrella. Luego se determina la calificación de velocidad para el operario en cada una de las actividades según Niebel & Freivalds (2009), el Método de Westinghouse correspondiente al esfuerzo, la habilidad, las condiciones de trabajo y la consistencia en las labores realizadas por el operario, en cada una de las operaciones de fabricación de los productos estrella, ver tabla 3, con el fin de calcular el Tiempo Normal que resulta de multiplicar el Tiempo promedio observado de cada elemento por la calificación de velocidad, en el caso de los elementos manuales, ya que los elementos de máquina se les asigna una calificación de velocidad de 100%

Tabla 3. Clasificación Método Westinghouse.

Tabla calificación		
Método Westinghouse	Calificación	
Habilidad	C2	0,03
Esfuerzo	D	0.00
Condiciones	E	-0,03
Consistencia	E	-0,02

Elaboración propia basados en (Niebel & Freivalds, 2009)

Los factores de clasificación de la anterior tabla, se introducen de acuerdo a cada operario y tarea específica, por lo tanto, se calcularon en cada una de las operaciones en el procesamiento de los productos estrella con respecto al trabajador, la calificación de la habilidad del operario es C2 con un valor de 0,03, lo que significa que de acuerdo a la

tabla 11.2 del Niebel & Freivalds, (2009, pág. 359) la habilidad del operario es buena, el esfuerzo D con un valor de 0,00, según la tabla 11.3 del Niebel & Freivalds, (2009, pág. 359) significa que el esfuerzo realizado por el operario es promedio en comparación a los demás, las condiciones son E con un valor de -0,03 de acuerdo con la tabla 11.4 del Niebel & Freivalds, (2009, pág. 359) son aceptables para el desarrollo de las actividades por parte del trabajador y por último la consistencia al realizar la actividad E con un valor de -0.02 según la tabla 11.5 del Niebel & Freivalds, (2009, pág. 360) implica una consistencia aceptable en el desarrollo de la actividad. Al final por medio de la suma algebraica se obtiene el factor de desempeño del trabajador en específico.

Adicionalmente, se establecieron las tolerancias para cada operación a través de la tabla 11.9 de las holguras recomendadas por ILO (*International, Labor, Office*) Niebel & Freivalds (2009, pag 369). A continuación, las holguras definidas para la operación de lavado de cuchilla, ver tabla 4.

Tabla 4. Holguras recomendadas por ILO.

Holguras	
Holgura por fatiga básica	4,00%
Holgura por estar de pie	2,00%
Uso de fuerza (levantar, arrastrar o empujar) 10 lb	1,00%
Iluminación: un poco debajo de lo recomendado	0,00%
Atención cercana: trabajo fino o exacto	2,00%
Nivel de ruido: de tono alto, fuerte	5,00%
Esfuerzo Mental: proceso bastante complejo	1,00%
Monotonía: alta	4,00%

Tedioso	2,00%
Total	21,00%

Elaboración propia basados en (Niebel & Freivalds, 2009)

La tabla de holguras es calculada de acuerdo al análisis para cada uno de los operarios al realizar cada actividad, el porcentaje otorgado a las holguras por fatiga es del 4% que son las holguras básicas con que cuenta cada operario, las holguras variables 2% al estar de pie el operario durante el desarrollo de la actividad, el uso de fuerza 1% pues el operario utiliza una fuerza mínima al realizar la actividad, la iluminación 0% por estar bajo de lo recomendado, la atención cercana con un 2% al realizar un trabajo fino y exacto en la elaboración del producto, el nivel de ruido 5% pues la operación se desarrolla con constante ruido, esfuerzo mental 1% siendo el proceso complejo, la monotonía 4% es alta por el número de veces que se realiza esta actividad en la jornada laboral y finalmente, se considera la operación tediosa 2% al no contar con variaciones en la jornada.

Posteriormente se calcula el tiempo normal para cada operación, de acuerdo a la ecuación 2:

$$TN = TO \times C / 100$$

Ecuación 2. Número de observaciones requeridas

Fuente: Niebel & Freivaldis (2009, pág. 343)

Donde:

TN= tiempo normal

TO= tiempo observado

C= Calificación de desempeño

Finalmente, se calcula el tiempo estándar, a partir del tiempo normal y la holguras como lo muestra la ecuación 3.

$$TE = TN + (TN \times \text{holgura})$$

Ecuación 3. Número de observaciones requeridas

Fuente: Niebel & Freivaldis (2009, pág. 379)

Donde:

TE= tiempo estándar

TN= tiempo normal

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tiempos en la tabla 5, el estudio completo se encuentra en los anexos a partir del anexo E hasta el anexo TTT.

Tabla 5. Resumen del estudio de tiempos para los productos estrella.

Producto	Tiempo Normal (segundos/unidad)	Tiempo Estándar (segundos/unidad)
Cuchilla	20,73	27,18
Eje porta cuchilla	40,82	46,59
Bracket	97,54	118,99
Plato	76,33	94,15
Válvula Bico	38,76	44,44
Tuerca Bico	64,00	76,81

Elaboración propia basados en (Niebel & Freivalds, 2009)

Con base al tiempo estándar calculado, se procede a determinar la capacidad de producción mostrada en la tabla 6.

Tabla 6. Capacidad de producción productos estrella.

Producto	Tiempo Estándar (segundos/unidad)	Capacidad de Producción (unidades/día)
Cuchilla	27,117	1062
Eje porta cuchilla	116.32	247
Bracket	233,42	123
Plato	94,15	305
Válvula Bico	132,84	216
Tuerca Bico	159,03	181

Elaboración propia basados en (Niebel & Freivalds, 2009)

En conclusión, en el estudio de tiempos se evidencia al eje porta cuchilla y al bracket, como los productos con el mayor tiempo estándar, también que el 69% de la capacidad de producción es absorbida actualmente por los productos estrella. Por lo anterior, la propuesta apunta a reducir estos tiempos en primera medida a través de mejoras en los métodos, con el fin aumentar la capacidad de producción, cabe resaltar que durante el estudio de tiempos también se evidenció tiempo inactivo del proceso, derivado de largos tiempos de puesta a punto de maquinaria.

Con el fin de determinar la causa de los diferentes tiempos se implementó un indicador de eficiencia de la producción denominado *OEE*, el cual evalúa 3 factores, rendimiento, disponibilidad y calidad.

El *OEE* se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$OEE = Rendimiento * Disponibilidad * Calidad$$

Ecuación 4. *OEE*

Fuente: Touron (2016)

Dónde:

Rendimiento es el resultado de dividir la producción real entre la capacidad de producción.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad de producción}}$$

Ecuación 5. Rendimiento

Fuente: Touron (2016)

Disponibilidad es el resultado de dividir el tiempo productivo entre el tiempo disponible.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo disponible}}$$

Ecuación 6. Disponibilidad

Fuente: Touron (2016)

Calidad es el resultado de dividir las piezas buenas entre la producción real.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas buenas}}{\text{Producción real}}$$

De acuerdo a lo anterior se calculó el OEE para el troquelado 1er paso realizado en la prensa hidráulica J1:

$$\text{Rendimiento} = \frac{1000}{1000} \text{ und}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{273,6}{480} \text{ minutos}$$

$$\text{Calidad} = \frac{960}{1000}$$

Por lo tanto, el *OEE*:

$$\text{OEE} = 1 * 0,57 * 0,96 = 54,72\%$$

Según el criterio del *OEE* cuando el resultado es menor del 65%, es deficiente (inaceptable) y se dice que la competitividad es muy baja, teniendo en cuenta la composición de elementos, vemos que esta operación se ve altamente afectada por la disponibilidad, pues del 100% de tiempo disponible solo trabaja el 43%, esto se debe a

que su velocidad de procesamiento es mucho mayor que la de las otras máquinas que conforman la producción de plato.

A continuación en la tabla 7, se presenta el *OEE* para cada una de las operaciones de plato:

Tabla 7. *OEE* plato

Plato					
Proceso	Máquina Utilizada	Rendimiento	Disponibilidad	Calidad	OEE
Troquelado 1er paso	Troqueladora	0,77	0,48	0,97	0,36
Conformado de Figura	Troqueladora	0,82	0,88	0,97	0,70
Embutido	Troqueladora	0,75	0,77	0,97	0,56
Punzado	Taladro de Árbol	0,8	0,85	0,97	0,66
Estirado de pestaña	Prensa Hidráulica	0,9	0,82	0,96	0,71

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados del *OEE* calculado para cada operación, identificamos que la mayoría de procesos se encuentran en estado regular, lo que significa que están en etapa de mejora y la productividad es baja, en el caso de embutido el *OEE* es deficiente al igual que en el troquelado 1er paso, en este caso se debe a demoras por alimentación manual de la máquina y por largos tiempos de puesta a punto.

De igual manera en la tabla 8, se muestra el *OEE* para cada una de las operaciones de bracket:

Tabla 8. *OEE* bracket

Bracket					
Proceso	Máquina Utilizada	Rendimiento	Disponibilidad	Calidad	OEE
Corte Interno y Doble interno	Troqueladora	0,85	0,58	0,97	0,48
Corte Externo	Troqueladora	0,85	0,58	0,97	0,48
Estampado	Troqueladora	0,79	0,87	0,98	0,67
Conformado	Troqueladora	0,73	0,75	0,975	0,53
Soldadura a Proyección	Soldadora	0,89	0,82	0,97	0,71
Punzado de Agujeros	Prensa Hidráulica	0,88	0,85	0,98	0,73

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente notamos un *OEE* más bajo en las primeras operaciones, correspondientes a corte y doblez interno, corte externo, esto se debe a que dentro de los procesos de estos dos productos, se usa la prensa hidráulica J1 para el corte del material que alimenta todo el proceso, sin embargo, al ser de mayor capacidad hace los procesos más rápidamente que las demás máquinas y queda libre, mientras que el resto del proceso

trabaja al tope de capacidad pero sigue reportando largos tiempos de procesamiento. Para el caso de conformado el *OEE* también es deficiente, esto se debe a demoras en la producción por la alimentación manual y largos tiempos de cambio de montaje, que traducen en una menor cantidad de unidades producidas por periodo de tiempo.

De igual manera se calculó el *OEE* para el proceso de fabricación de eje porta cuchilla.

Tabla 9. *OEE* eje porta cuchilla

Eje Porta Cuchilla					
Proceso	Máquina Utilizada	Rendimiento	Disponibilidad	Calidad	OEE
Corte	Torno Automático	0,76	0,72	0,97	0,53
Mecanizado	Taladro de Árbol	0,85	0,86	0,97	0,71
Fresado	Fresadora	0,83	0,87	0,85	0,61
Tamboreado	Tambor	0,6	0,78	0,98	0,46
Laminado	Fresadora	0,85	0,81	0,97	0,67
Rectificado	Rectificadora	0,88	0,85	0,98	0,73
Lapeado	Brilladora	0,8	0,8	0,99	0,6336

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al *OEE* calculado, el corte, tamboreado y laminado son procesos deficientes, que indican una baja productividad, según observaciones son procesos en los que presentan demoras permanentes, debido a que existen operaciones manuales como buscar ejes producidos entre la rebaba para el caso de corte, errores por fatiga en el caso de fresado, que inciden en el número de piezas buenas producidas por periodo de tiempo y recoger manualmente ejes tamboreados a nivel del piso para el caso del tambor.

3.2 Distribución en planta

Provemel cuenta con dos pisos para el desarrollo de sus distintas actividades. El segundo piso consta de oficinas y un área de ensamble de eje porta cuchilla, además de un depósito. El primer piso, por su parte, es donde se ubica el área de producción. La empresa cuenta con varias máquinas de distinto tipo, agrupadas en zonas de acuerdo a su variedad, es decir todos los tornos automáticos juntos, las fresas en una misma área, por lo tanto, su distribución de planta es por proceso. La misma es efectiva para la fabricación de gran variedad de productos en bajos volúmenes. No obstante, la organización cuenta con un portafolio amplio y produce grandes volúmenes pero de un número limitado de referencias.

El estudio se centra en los cuatro productos estrella, para los cuales se realizaron diagramas de recorrido y matrices de carga distancia, con el objetivo de identificar las necesidades de cada área a nivel de espacio y a su vez evaluar la distribución de planta actual. A continuación, se muestra la distribución de planta actual (Ver figura No.15), con

las convenciones correspondientes a cada tipo de máquina. El área total de la planta es 1600 m².

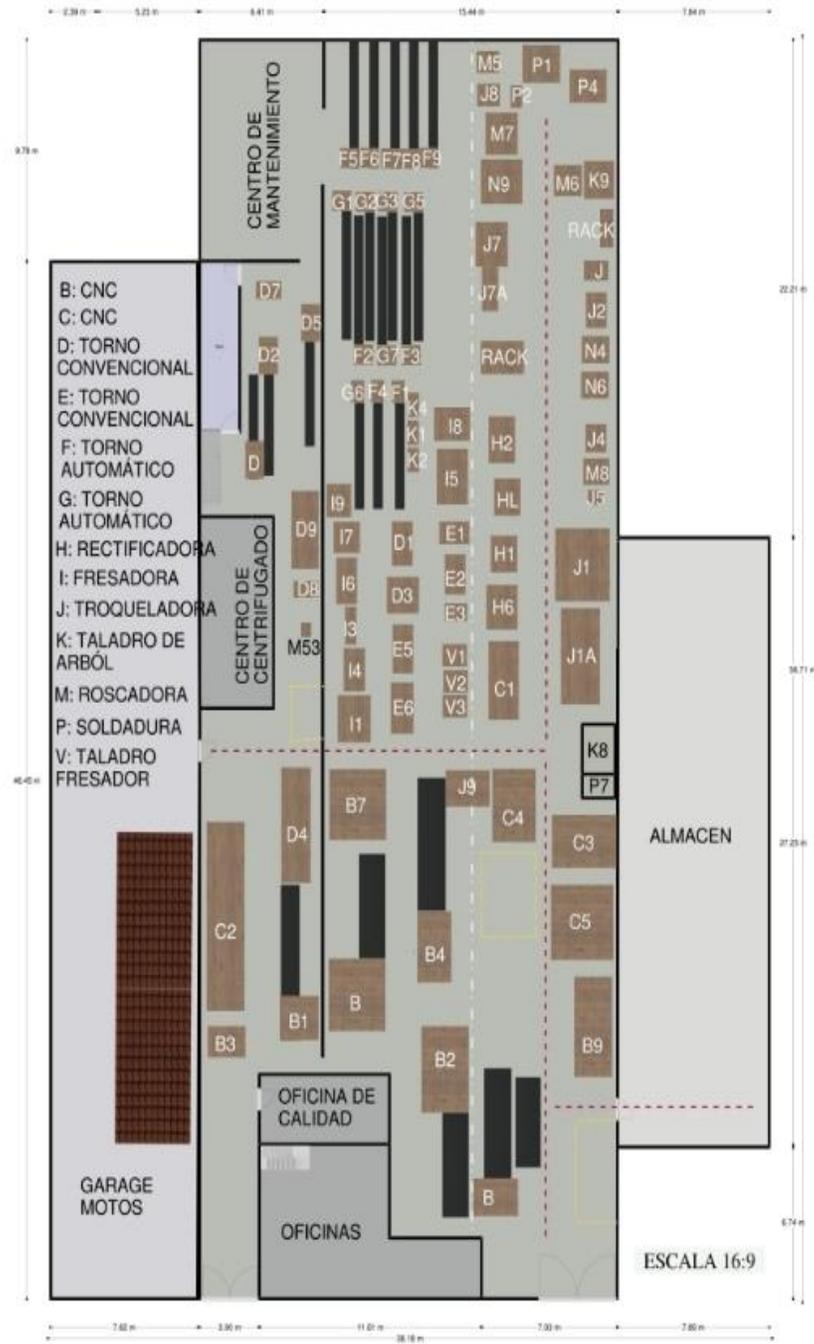


Figura 15. Planta Provemel

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de recorrido que cuenta con las menores distancias entre operaciones es el correspondiente al Plato para amortiguador, (Ver figura No. 16)



Figura 16. Diagrama de recorrido para Plato

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la matriz carga distancia para este producto tiene uno de los valores más altos 23984 kg*m, debido a los volúmenes de producto en proceso que se desplazan. En general, se movilizan canastas con 70 platos de un proceso a otro, cada plato con un peso de 0,640 kg, para un total de 44,8 kg. Durante el día se desplazan hasta 10 canastas de un proceso a otro.

En las siguientes matrices, se presenta el método carga distancia para este producto. En la primera matriz (Ver Tabla 10) se muestran las diferentes áreas entre las que se realizan desplazamientos y el peso en kg, que se moviliza de un proceso a otro. En la siguiente tabla (Ver Tabla 11) se muestran las distancias recorridas y finalmente, la matriz carga distancia (Ver Tabla 12), donde se exhiben las multiplicaciones 1-1 de las matrices. Dando como resultado 23984 kg*m. A continuación, el significado de las diferentes siglas:

A: Área de almacenamiento.

J1: Troqueladora del código 1, donde se realizan las operaciones del corte de los platos.

J 2-4-5: Troqueladoras de código 2, 4 y 5, donde se realiza la operación de conformado de figura.

M6: Prensa hidráulica donde se realiza el embutido del plato.

M7: Prensa hidráulica donde se efectúa el corte y punzonado de figura.

N9: Prensa hidráulica para el embutido final.

W: Área de empaque.

Tabla 10. Matriz carga plato.

MATRIZ CARGA [KG]					
Áreas	J1	J 2-4-5	M6	7	N9
A	500				
J1	X				256
J 2-4-5		X	256		56
M6				256	
M7		256			
N9		256			X
w					X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Matriz distancia plato.

MATRIZ DISTANCIA [M]					
Áreas	J1	J2-4-5	M6	N9	W
A	15,2				
J1				14,5	
J12-4-5		X	,5		7
M6			X	,5	
M7		8			
N9		6,5		X	
w					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Matriz carga- distancia para plato.

MATRIZ CARGA DISTANCIA [KG*M]								
Áreas	A	J1	J2-4-5	M6	M7	N9	W	TOTAL
A	X	7600						7600
J1						3712		3712
J12-4-5				1920			6912	8832
M6				X	228			128
M7		2048						2048
N9		1664				X		1664
W								0
TOTAL KG*M								23984

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el producto que cuenta con la distancia más larga de recorrido es la cuchilla para licuadora. Desde el proceso de lapeado hasta el ensamble hay una distancia de 52 m, teniendo en cuenta que además de atravesar la planta, se deben tomar unas escaleras para llegar hasta el segundo piso, al área de remachado y chuzado.

A continuación, se presenta el método carga distancia para este producto. En la primera matriz (Ver Tabla 13) se muestran las diferentes áreas entre las que se realizan desplazamientos y el peso en kg, que se moviliza de un proceso a otro. En la siguiente tabla (Ver Tabla 14) se muestran las distancias recorridas y finalmente, la matriz carga distancia (Ver Tabla 15), donde se exhiben las multiplicaciones 1-1 de las matrices. Dando como resultado 24201.5 kg*m.

Matriz carga en Kg de las diferentes máquinas donde sucede el proceso de fabricación de los productos estrella, a continuación, el significado de las diferentes siglas:

A: Área de almacenamiento.

J2-4-5: Troqueladoras de código 2, 4 y 5, donde se realizan las operaciones de conformado y embutido.

J7: Troquelado donde se realiza el corte de flejes afilados.

W: Área de empacado

R: Operación de remachado.

CH: Operación de chuzado.

Tabla 13. Matriz carga para cuchilla.

MATRIZ CARGA [KG]				
Áreas	J2-4-5	J7	W R	H
A		325		
J2-4-5	X		8	
J7	8	2 X		
w			X	
R				
CH		325		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Matriz distancia para cuchilla.

MATRIZ DISTANCIA [M]						
Áreas	A	J2-4-5	J7	W	R	CH
A	X		45,5			
J12-4-5		X			52	
J7		4	X			
w				X		
R					X	0,5
CH				2,5		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Matriz carga- distancia para cuchilla.

MATRIZ CARGA DISTANCIA [KG*M]						
Áreas	J2-4-5	J7	W	R	H	TOTAL
A	X	14787,5				14787,5
J2-4-5	X			1976		1976
J7	112	X				112
W			X			0

Continuación tabla 15

Áreas	J2-4-5	J7	W R	H	TOTAL
R			X	3,5	13,5
CH		12,5	73		731
TOTAL KG*M					24201,5

Fuente: Elaboración propia

Es necesario hacer hincapié en que el eje se tomó como un producto separado para fines del estudio, sin embargo, hace parte de la cuchilla. Juntos suman 32406,6 kg*m, lo que lo hace el producto más relevante en términos de distribución de planta. A modo de resumen el siguiente cuadro (Ver Tabla 16) muestra el resultado de la aplicación del método carga distancia para todos los productos del estudio.

Tabla 16. Resumen Matriz Carga Distancia para los productos estrella.

MATRIZ DISTANCIA [KG*M]	
Cuchilla	24.201,50
Eje porta cuchilla	8.205,10
Plato	23.984
Bracket	15.367,17
Tuerca bico	2996,20
Válvula bico	2042,86

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al criterio del método, es pertinente realizar una redistribución de planta, teniendo en cuenta, que el resultado se debe a las grandes distancias de recorrido entre procesos para el caso de Cuchilla para licuadora, Válvula/ Tuerca Bico y no al volumen desplazado cada vez como se observa en Plato y Bracket, además, a causa de estos desplazamientos de largas distancias, la empresa no realiza todos los procesos durante el mismo día, se genera producto en proceso en cada operación, hasta acumular una cantidad mínima para llevarla día siguiente o cada dos días y como consecuencia se genera acumulación de producto en proceso.

De acuerdo a datos recolectados directamente en la empresa, se puede observar en la figura 17, el producto en proceso para el eje porta cuchilla, en el primer cuadro la operación, debajo en el recuadro la cantidad en kg de producto que pasa de un proceso a otro y también la frecuencia con la que este se desplaza:

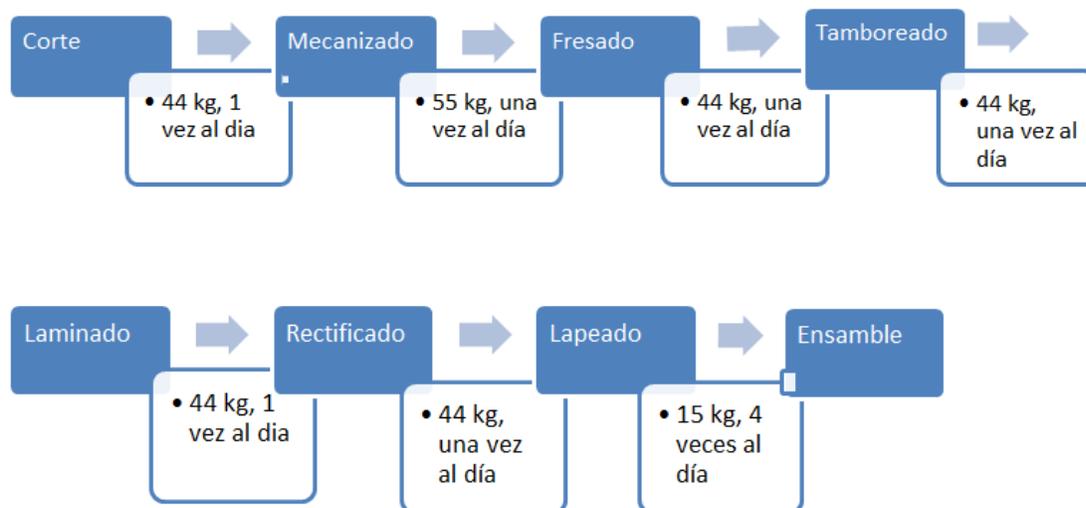


Figura 137. Producto en proceso, eje cuchilla

Fuente: Elaboración propia

En este caso, hay 335 kg de eje cuchilla en proceso para cada día, que equivale a un aproximado de 69.909 ejes porta cuchilla, eso significa que la distancia entre operaciones hace que el producto se acumule, causando demoras en el tiempo de procesamiento y ocupando espacio disponible en la planta, convirtiéndose en un pasivo para la empresa pues no puede ser despachado sin terminar.

A continuación, se mostrará la tabla 17 a modo de resumen, calculando la cantidad de producto en proceso para cada uno de los productos estrella:

Tabla 17. Producto en proceso, productos estrella

Producto	Cantidad de producto en proceso [kg]	Cantidad de producto en proceso [und]
Cuchilla	64	25.600
Eje porta cuchilla	335	67.000
Bracket	4.900	8.167
Plato	1.582	2.470
Tuerca bico	24,75	16.500
Válvula bico	34,9	8.725

Fuente: Elaboración propia

Según los hallazgos de este capítulo, la propuesta de redistribución de planta estará enfocada en reducir las distancias para evitar o disminuir las demoras que afectan los tiempos de procesamiento y dificultan la posibilidad de hacer entregas parciales.

3.3 Tiempos de puesta a punto por medio de la Metodología SMED

La puesta a punto de las máquinas en la empresa consiste en cambiar los montajes para fabricar un producto u otro. Las actividades de puesta a punto varían en cada máquina. No obstante, no se realiza cambio de montaje en todas las máquinas. Para este documento solo se tomaron en cuenta los montajes de las máquinas involucradas en el procesamiento de los productos estrella (fresadora, torno automático y prensa hidráulica) por petición de la organización, pues consideran que se pierde tiempo valioso en estos procesos.

En la siguiente tabla (ver Tabla 18) se muestran las actividades correspondientes al cambio de discos de fresado. Cada actividad se clasifica en interna o externa. Las actividades internas son aquellas realizadas con la máquina apagada. Por su parte, las externas con la máquina encendida. Adicionalmente, se muestra la duración en minutos de cada actividad.

Tabla 18. Montaje Fresadora SMED etapa 1.

Montaje de fresadora, cambio de fresas			
NÚMERO	ACTIVIDAD	TIEMPO REQ [min]	INT/EXT
1	Soltar fresas gastadas	5	I
2	Buscar fresas nuevas en gerencia	30	I
3	Poner nuevas fresas	15	I
4	Verificar medidas	15	E
	Total	65	T
	Total Actividades Internas	50	I
	Total Actividades externas	15	E
	Frecuencia del montaje	Cada 8-10 días	

Fuente: Elaboración propia basados en (Mihok et al. 2015)

En la parte inferior se observa el tiempo total del montaje, la duración de las actividades internas y también las externas, además de la frecuencia con la que se realiza el montaje.

Representado gráficamente en bloques de 5 minutos (Ver Figura 18), las actividades internas de color amarillo, las externas por su parte de color azul, se observa con mayor claridad que la actividad con mayor duración es el número 2: buscar fresas en gerencia.

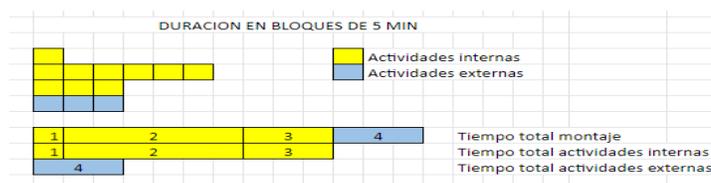


Figura 148. Diagrama Montaje fresadora SMED

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con Mihok et al. (2015) la metodología SMED, apunta a minimizar estos tiempos lo máximo posible. La clasificación de las actividades se elabora con el fin de observar qué tareas se hacen con la máquina apagada, que se pudiesen hacer con la máquina encendida, además de evaluar si se pueden realizar cambios de tal forma que el montaje ya esté casi ensamblado antes de parar la producción para hacer el cambio, o por otra parte estandarizar elementos como moldes, troqueles, tornillos y pernos, con el fin de minimizar tiempos muertos en búsquedas y desplazamientos.

El montaje con más larga duración es el embutido con 85 minutos (Ver Tabla 19), que consiste en el cambio de troquel. Según la literatura y lo investigado en la planta producción, se podría estandarizar el tamaño de las placas y los pernos, para reducir tiempos de búsqueda, además de tener todo lo necesario para esta actividad junto a la máquina, antes de apagarla para iniciar el cambio.

Tabla 19. Montaje cambio de troquel SMED etapa 1.

Montaje de embutido, cambio de troquel			
NÚMERO	ACTIVIDAD	TIEMPO REQ [min]	INT/EXT
1	Desmontar producto anterior	20	I
2	Limpieza de placas	5	I
3	Desplazar troquel	5	I

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 19.

Montaje de embutido, cambio de troquel			
NÚMERO	ACTIVIDAD	TIEMPO REQ [min]	INT/EXT
4	Traer troquel nuevo y pernos	5	I
5	Colocar placas y sujetarlas	25	I
6	Situar pieza y ajustar presión	10	E
7	Verificar medidas	15	E
Total		85	T
Total Actividades Internas		60	I
Total Actividades externas		25	E
Frecuencia del montaje		Cada 15 días	
		Según orden de producción	

Fuente: Elaboración propia

Gráficamente se elaboró un esquema para observar mejor la problemática. Nuevamente las actividades internas de color amarillo y las externas de color azul (Ver Figura 19). Las actividades 1 y 5 son las que duran más, en este momento son actividades internas debido a que consisten en soltar o montar piezas de la máquina implicadas directamente en el mecanismo, operaciones que por seguridad deben hacerse con la

máquina apagada. Sin embargo, estos tiempos podrían reducirse por medio de modificaciones, que reduzcan los tiempos de búsqueda de herramientas y pernos, y también del número de piezas que se deben desmontar cada vez que se realiza el proceso.

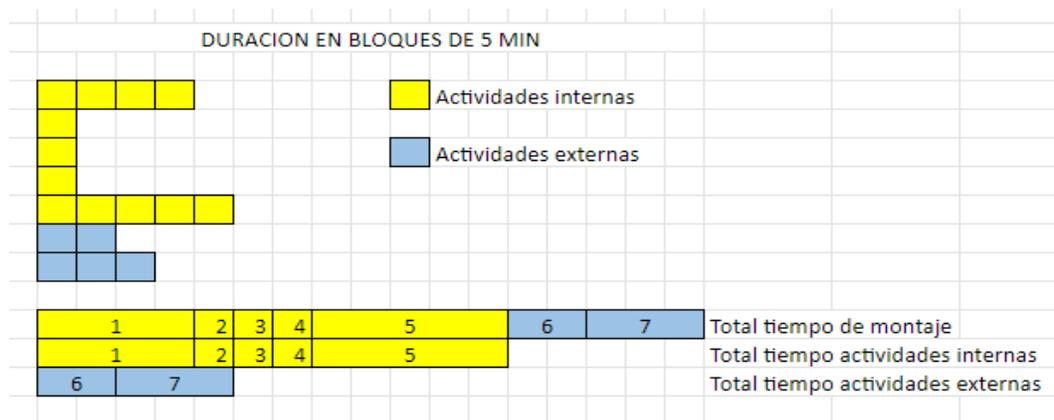


Figura 159. Diagrama montaje cambio de troquel.

Fuente: Elaboración propia

Actualmente la compañía está trabajando en los tiempos muertos derivados de la puesta a punto de maquinaria, por medio de un ingeniero mecánico que conoce la actividad de la planta y está planeando rediseño de los montajes, en cuanto a lo anteriormente mencionado de la estandarización de placas y pernos, en consecuencia, se trabajó de forma articulada con él para la obtención de algunos tiempos, para la comprensión de operaciones y para evaluar si eran posibles los rediseños de montaje.

Los montajes que se van a trabajar en este proyecto, por medio de la metodología SMED, son 3: cambio de troquel, afilado de buriles ver Anexo OOOO y cambio de fresas, pues son los montajes con una frecuencia menor a 1 mes y, por lo tanto, se considera que afectan los tiempos de procesamiento, la información se obtuvo por medio de observaciones y de entrevistas en diferentes oportunidades a las personas que realizan los cambios del montaje.

3.4 Análisis De Hallazgos

3.4.1 Estudio de tiempos.

Posterior al estudio de tiempos de los procesos de los productos estrella, se identificaron las operaciones con mayor duración, siendo éstas, la del ensamble en la cuchilla y eje porta cuchilla (Ver Anexo QQ), el embutido en el plato (Ver Anexo GGG) y estampado en el bracket interno (Ver Anexo AAA); también se calculó el indicador *OEE* para las líneas de producción de bracket y plato, siendo éste regular (entre el 65% y el 74%) en la mayoría de los procesos exceptuando aquellos que se elaboran en la J1, pues esta máquina es más veloz y alimenta todos los procesos, por lo que luego esta máquina queda en ocio por tiempo prolongado.

3.4.2 Sobre recorridos.

Debido a la distribución de planta actual, por procesos, la mayoría de las distancias entre operaciones para todos los productos sobrepasan los tres metros. Estos transportes se realizan en canastas por los operarios que poseen más tiempo disponible entre procesos, es decir, aquellos que deben esperar por los productos de la operación anterior, que generalmente tiene un tiempo de fabricación más largo, de forma manual, y con un equipo de manejo de materiales (carro) cuando las canastas sobrepasan los 25 kg. Por otra parte, el producto que presenta la mayor carga-distancia es el eje cuchilla, con una distancia hasta de 52 m entre la operación de lapeado y ensamble. En la siguiente tabla (Ver Tabla 20), se observa la carga distancia para cada uno de los productos de estudio. Se tomó la Cuchilla y el Eje porta cuchilla por separado, ya que son dos partes que se fabrican de forma independiente y se ensamblan al final, que como resultado generan material en proceso, que queda en espera para ser trasladado. Por lo tanto, la carga distancia correspondiente al producto ensamblado es 32.406,6 kg*m, siendo la valoración más crítica causada por la actual distribución de planta seguida del Plato, con 23.984 kg*m.

Tabla 20. Resumen Matriz carga distancia productos estrella.

Producto	Carga distancia [Kg/m]
Cuchilla	24201,50
Eje porta cuchilla	8205,10
Tuerca bico	2996,20
Válvula bico	2034,53
Plato	23984,00

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Tiempos de puesta a punto.

Una problemática que afecta de forma directa los tiempos de procesamiento, son los largos tiempos de puesta a punto que pueden tardar hasta hora y media con una frecuencia desde cada dos días hasta cada 15 días. Desde el momento en que se decide un cambio

de montaje, se apaga la máquina, para la búsqueda de las piezas de recambio. A partir de allí, hasta que inician las pruebas de presión y ajuste de medidas, permanece apagada. El montaje de más larga duración, con 90 minutos, es cambio de troquel, debido a que para llevarse a cabo se necesita una multitud de herramientas que se encuentran en el área de almacén, y pernos de diferentes tamaños que se ajusten a las placas. No obstante, también este montaje es el que cuenta con la frecuencia más larga.

El siguiente montaje con mayor duración es el de cambio de discos de fresado con 65 minutos, cuya actividad de mayor duración es buscar la aprobación en gerencia para el cambio de fresas, con una extensión mínimo de 30 minutos, pero que puede alcanzar los 80 minutos, si en gerencia se encuentran en alguna reunión. Según el supervisor de esta área, las fresas son costosas, y los operarios prefieren cambiarlas con poco uso porque facilita su trabajo. Sin embargo, éstas cuentan con una vida útil hasta de 90 horas. Por lo tanto, los gerentes, quienes son expertos en el tema, son quienes aprueban el cambio.

A continuación, se presenta un cuadro resumen (Ver Tabla 21) de los montajes implicados en este estudio, la descripción de cada uno, la duración en minutos y la frecuencia con la cual se realiza en días.

Tabla 21. Tiempos de puesta a punto.

Descripción del montaje	Duración [min]	Frecuencia del montaje
Montaje de embutido, cambio de troquel	85	Cada 15 días
Montaje de torno automático, afilado de buriles	40	Cada 1-2 días
Montaje de fresadora, cambio de fresas	65	Cada 8-10 días

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Reprocesos por fatiga.

Según el diagnóstico de las operaciones, durante la toma de tiempos se identificó fatiga en las operaciones manuales, pues cada operario trabaja con movimientos repetitivos por tiempos prolongados, estas fatigas repercuten en errores que producen pérdidas de materia prima y producto en proceso. La compañía cuenta actualmente con dos pausas activas, una a las 11 am y la otra a las 3 pm, con una duración de 5 minutos cada una, con quince minutos de descanso para el desayuno de 9:15 a 9:30 am y una hora de almuerzo comprendida entre la 1pm hasta las 2 pm de lunes a viernes.

Además se identificó mediante observación directa, deficiencias en el diseño de los puestos de trabajo, pues con base en los principios de economía de movimientos, se observaron en la mayoría de las operaciones movimientos repetitivos de cuarto y quinto orden, que también inciden en la fatiga de los operarios durante el desarrollo de las actividades de la jornada. Aquellos con mayores deficiencias son los correspondientes tamboreado y troquelado, pues son procesos donde priman los movimientos de quinto orden, los operarios tienen que agacharse para tomar material en proceso y así alimentar la máquina, para posteriormente sacar el producto procesado y nuevamente agacharse o estirarse para ponerlo en el contenedor, de igual manera las herramientas no se encuentran dentro del área de alcance de los brazos, por lo que se requiere el movimiento continuo de hombros.

Para este análisis se evalúa primero el nivel de utilización del cuerpo humano, después las condiciones del área de trabajo para cada operación, y finalmente las máquinas y herramientas, de la fabricación de los productos estrella. Para determinar el nivel de utilización del cuerpo humano, se analizan los movimientos realizados según su orden, como se presenta en la tabla 22 a continuación.

Tabla 22. Orden de movimientos.

Orden o clase	Partes del cuerpo usadas	Ejemplo
PRIMER	Dedos de la mano	Enroscar tuerca, tomar una pieza pequeña
SEGUNDO	Dedos y muñeca	Colocar una parte en una base o soporte, ensamble de dos partes
TERCERO	Dedos, muñeca y antebrazo	Ensamblar
CUARTO	Dedos, muñeca, antebrazo y hombro	Movimientos de transporte de partes que no se pueden alcanzar con solo estirar el brazo
QUINTO (SUPERIOR)	Tronco	Agacharse para tomar o dejar algún objeto. (Deben evitarse en los trabajos repetitivos)

Fuente: *Elaboración propia* basada en (Niegel & Freivalds, 2009)

3.5.6 Resumen de hallazgos.

Las operaciones con mayor tiempo de fabricación son ensamble de eje porta cuchilla, actualmente realizado en el área de chuzado y remachado, además de embutido de plato y conformado de bracket externo, ambos efectuados en la prensa hidráulica M6. También se identificó que no están definidas las holguras por necesidades personales y fatiga para las operaciones manuales, por tanto, el tiempo estándar no está definido.

Para el aspecto referente a la distribución de planta, se definió el plano del área de producción y posteriormente se realizó la matriz carga distancia para cada uno de los productos estrella, tomando la distancia recorrida en metros (m) por el peso en kg desplazado por día. Las matrices carga-distancia de mayor importancia fueron las correspondientes a eje cuchilla con 32.406,6 kg*m y la matriz carga distancia para el plato con 23.984 kg*m. Para el caso de la cuchilla, el alto valor calculado se deriva de las grandes distancias de recorrido entre operaciones que alcanzan hasta los 50 m. Por su parte en el plato se debe a los altos pesos de las cargas de producto en procesos desplazados, que llegan a ser de hasta 500 kg, estos sobre recorridos afectan la disponibilidad de material en el siguiente proceso, lo que repercute a su vez en los tiempos de procesamiento

Con respecto a los tiempos de puesta a punto, se definieron 3 montajes de interés por su frecuencia de ejecución menor a 1 mes y con duración de hasta 90 minutos, por lo tanto, se considera que afectan directamente los tiempos de procesamiento, pues causan paradas y afectan la disponibilidad de las máquinas para la producción. El cambio de troquel es el más largo con hora y media de ejecución, seguido por el cambio de fresas con 65 minutos. Para el análisis de los tiempos de montaje, se identificaron cada una de las actividades que lo componen y posteriormente se indicó si estas se realizaban con la máquina apagada o encendida, proceso que corresponde a las primeras dos etapas de la metodología SMED.

Finalmente se identificaron reprocesos por fatiga, los operarios trabajan a la máxima velocidad posible hasta que empiezan a dañar piezas, no cuentan con pausas activas suficientes y específicas para cada labor, además en varios de los procesos algunas de las actividades involucran tronco (movimiento de 5to orden) que consiste en agacharse para tomar o dejar algún objeto y también hombro (movimiento de 4to orden) que corresponde a movimientos en los que para alcanzar, transportar o dejar algún objeto no basta con estirar el brazo.

4. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

A partir de los hallazgos encontrados, se diseñaron las siguientes propuestas de solución para reducir los tiempos de procesamiento. Se definió el tiempo estándar para cada uno de los productos estrella incluyendo las holguras por necesidades personales, demoras inevitables y fatiga, con las cuales se tiene un valor más preciso y ajustado del tiempo de proceso, y se determinan las operaciones más críticas a fin de mejorarlas para reducir los tiempos.

Se trabajaron propuestas desde el estudio de métodos y tiempos, primero la mejor utilización de una máquina de alta capacidad (120-160 toneladas) que se usa solo para el troquelado, segundo una redistribución de planta para garantizar el flujo de material, tercero reducción de tiempos de montaje por medio de la metodología *SMED* y última propuesta de la implementación de una nueva pausa activa y rediseño de los puestos de trabajo para reducir la fatiga en los trabajadores.

4.1 Tiempos de procesamiento, emplear adecuadamente la maquinaria de producción

Hacer mejor uso de la máquina de corte J1. La J1 es una prensa hidráulica (Ver figura 20) cuya capacidad está subutilizada. En el mes de septiembre de 2018 solo estuvo en trabajando el 43% del tiempo disponible (Ver Figura 21), según las estadísticas que lleva la empresa (ver Anexos AAAAA y BBBB). Este equipo cumple funciones similares a la M6, pero posee mayor capacidad. El conformado del plato y bracket se realiza en la prensa M6 (ver Figura 22), este equipo posee baja velocidad de procesamiento, en consecuencia, constituye una operación de larga duración, se propone aprovechar la prensa J1 (ver Figura 20) porque tiene un tiempo de ocio del 57% y su funcionamiento similar permitirá incorporarla a las operaciones de conformado de plato y embutido de bracket, para así aumentar la capacidad de producción por unidad de tiempo.



Figura 16. Prensa hidráulica J1

Fuente: Elaboración propia

Si se usa la J1 durante el tiempo que no esté cortando láminas para conformado y embutido de Plato y Bracket, se reducirá el tiempo de procesamiento de estos procesos a la mitad o más, aumentando el número de piezas producidas por unidad de tiempo, para así lograr un equilibrado con las demás operaciones, logrando el flujo continuo de material en la línea de producción y reduciendo el tiempo muerto de las otras máquinas involucradas.

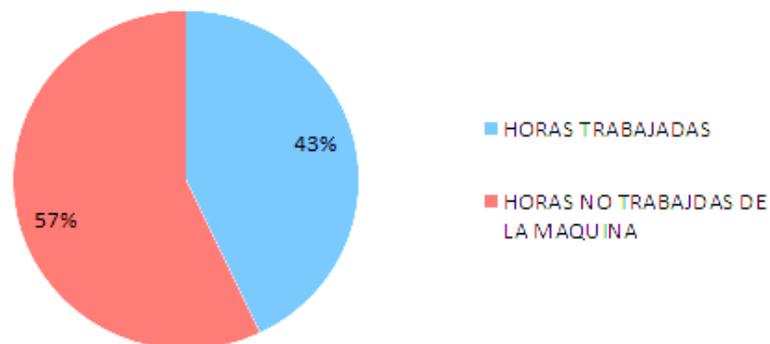


Figura 17. Horas trabajadas y no trabajadas durante el mes de septiembre 2018 de la máquina J1

Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Prensa hidráulica M6

Fuente: Elaboración propia

4.2 Redistribución de planta

Por medio del diagrama de relaciones ver figura 23 y la matriz carga distancia, calculada para cada producto, se diseñaron dos alternativas de distribución que reducen los recorridos entre operaciones para todos los productos estrella, disminuyendo el tiempo muerto empleado en desplazamientos, pero cumpliendo a su vez con los requisitos para cada producto. Primero se elaboraron las matrices carga distancia para los 4 productos estrella, posteriormente se realizó el diagrama de relaciones, teniendo en cuenta solo las máquinas involucradas en el procesamiento de los productos de estudio y basados en los tipos de relaciones según la tabla 23, se establecieron relaciones tipo A entre las operaciones del mismo producto, cuyo resultado del carga distancia era mayor de 500 kg/m, relaciones tipo E para operaciones con resultado carga distancia entre 100 y 500 kg/m, por su parte, relaciones tipo I, entre operaciones con carga distancia menor que 100 kg/m y relaciones tipo X, teniendo en cuenta operaciones con necesidades especiales de nivel de ruido, humedad, inflamabilidad y/o temperatura, por las cuales no se recomienda que las áreas queden juntas, por su parte las relaciones tipo U, se consideran sin importancia.

Para la distribución de planta existen varios software de simulación, que cuentan con limitaciones como que solo realizan distribuciones en forma de caracol, o diseñan áreas rectangulares, en este caso además existía la necesidad de ubicar el comienzo y el fin de cada proceso cerca del almacén, pues Provemel solo posee una entrada y una salida de material, así mismo, era pertinente tener en cuenta que las relaciones tipo A, en algunos casos no estaban conectadas todas entre sí, pues corresponden a la correlación entre áreas para diferentes productos. Por lo tanto, anteriormente se diseñaron las propuestas teniendo en cuenta tanto el diagrama como las matrices carga distancia y buscando a su vez, que las operaciones de cada producto quedaran contiguas, dándole preferencia de cercanía al almacén, a aquellos productos con el valor carga distancia más significativo.

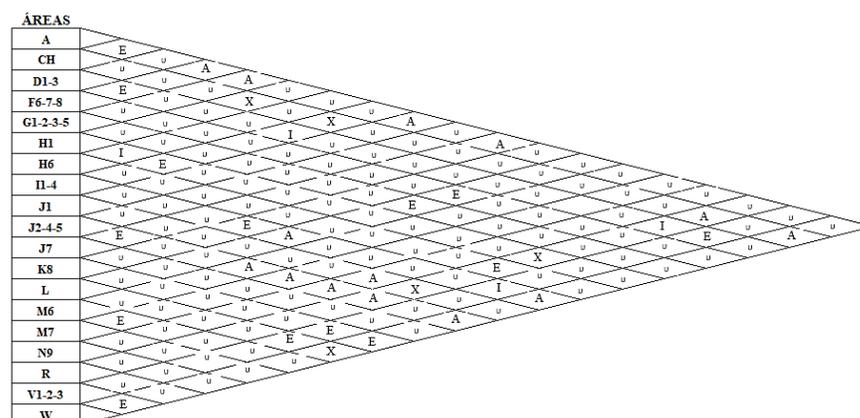


Figura 19. Diagrama de relaciones, máquinas para procesamiento de productos estrella

Fuente: Elaboración propia basada en Niebel & Freivaldis (2009, pág 60)

Tabla 23. Valores de relación del SPL. Elaboración propia

Relación	Símbolo	Valor
Absolutamente necesario	A	4
Especialmente importante	E	3
Importante	I	2
Sin importancia	U	0
No deseable	X	-1

Fuente: Elaboración propia basada en Niebel & Freivaldis (2009, pág 90)

De acuerdo a lo anterior, se diseñaron celdas de manufactura o líneas de ensamble en “U” teniendo en cuenta que la empresa cuenta con una única entrada y salida de material. No obstante, también se cuenta con líneas de ensamble tipo “I” y “L”, pues este tipo de distribución no entorpece la disponibilidad de las máquinas para los demás procesos de la planta, por el contrario, aumenta la capacidad del sistema de producción, principalmente en los productos más representativos de la compañía. A continuación, se presentan las dos alternativas de solución, con sus respectivas matrices carga distancia:

4.2.1 Alternativa 1.

En esta alternativa, se tomó como parámetro inicial el producto con la mayor carga distancia, Eje Cuchilla. Por lo tanto, se ubicó la primera operación junto al almacén y se diseñaron celdas de manufactura con las siguientes operaciones en línea recta hasta tamboreado en la K8 (código del cuarto de tamboreado), donde la línea de ensamble inicia el regreso a almacén pasando por rectificado, lapeado, inspección, para finalmente llegar a remachado y chuzado, justo a 4 metros del almacén.

Posteriormente, se realizó una distribución en L con el proceso de Plato, Ubicando la J1 a 12 metros del almacén (Ver figura 24), que es la máquina donde inicia la elaboración de este producto Se asignaron las siguientes estaciones de trabajo hacia abajo para que el proceso termine a una distancia aproximada de 7 metros del almacén. Cabe resaltar que se definieron ambas alternativas buscando crear corredores de aproximadamente 2 metros de ancho para facilitar el paso del montacargas hacia las operaciones donde se mueven los mayores pesos de material que pueden alcanzar las 9 toneladas para el caso de la J1.

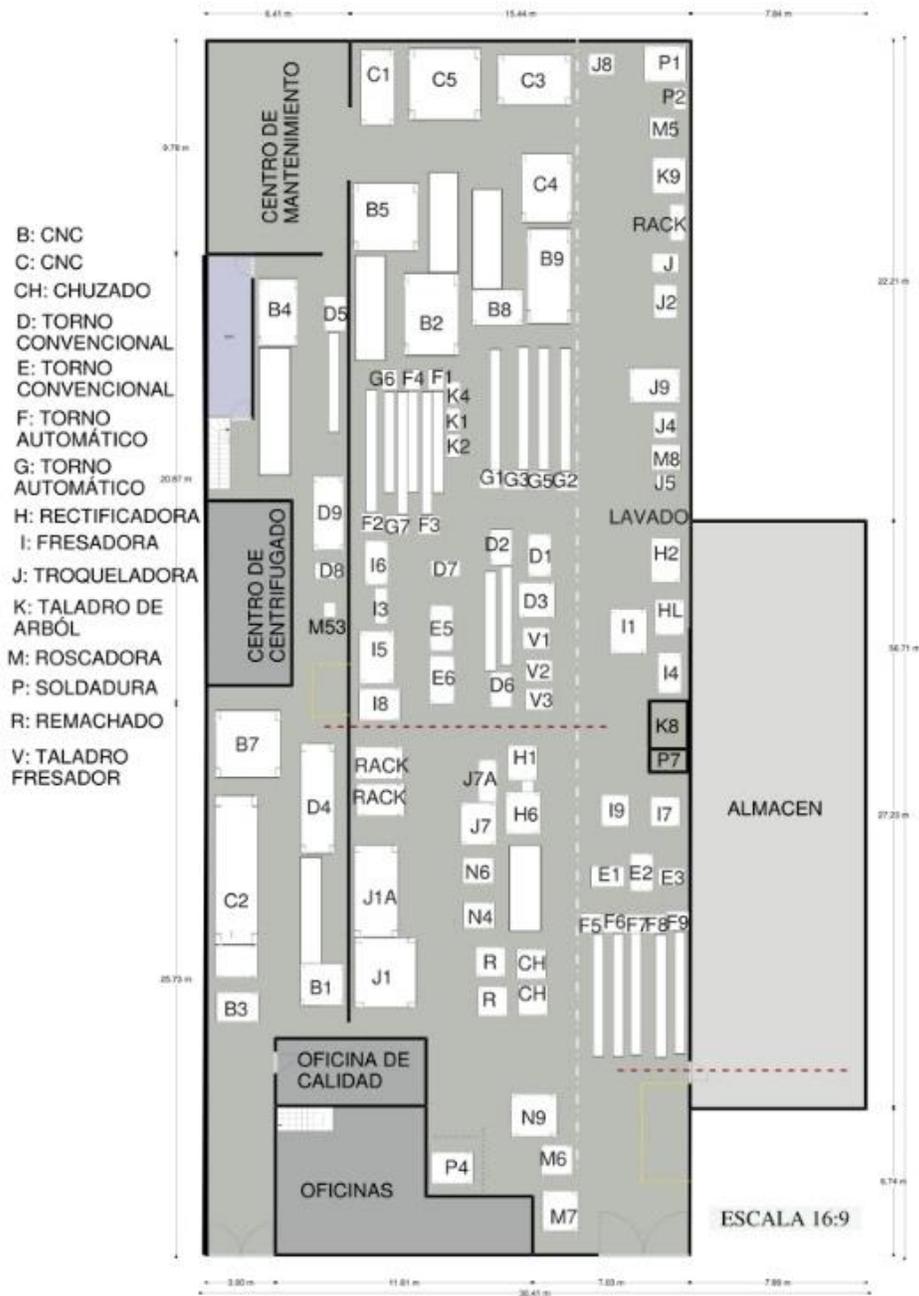


Figura 204. Alternativa 1, Distribución de Planta.

Fuente: Elaboración propia

Según este cuadro resumen de las matrices carga distancia, todos los $\text{kg}\cdot\text{m}$ se reducen notablemente (Ver Tabla 24). Para el Eje Cuchilla ensamblado, que es el producto con el valor distancia más grande con la distribución de planta actual, la reducción es de 21.798,7 $\text{kg}\cdot\text{m}$. Además, para el Plato que era el segundo mayor, es de 11.456 $\text{kg}\cdot\text{m}$. Tal como se

menciona al inicio del documento estos productos conforman familias de referencias, por lo tanto, esta distribución de planta afectará a la mayoría de los productos que componen las ventas de Provemel en el año 2018 de forma positiva, reduciendo costos derivados de desplazamientos y aumentando a su vez, la capacidad de producción, incluyendo el mejor aprovechamiento de las horas hombre.

Tabla 24. Matriz carga distancia alternativa 1.

Matriz carga distancia alternativa 1				
Producto	Carga distancia [kg*m]		Reducción %	Reducción %
	Actual	Anterior		
Válvula bico	895,2	2034,33	1139,06	56%
Tuerca	550,8	2996,2	2445,4	81,6%
Cuchilla	7277	24201,5	16924,5	70%
Eje cuchilla	3330,9	8205,1	4874,2	59,4%
Plato	12528	23984	11456	47,7%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Alternativa 2.

En esta alternativa se buscó acercar más la J1 al almacén y el área de descarga, por medio de celdas de manufactura, para reducir la carga distancia. Se conservó la “U” del proceso de Eje Cuchilla, pero en sentido inverso junto al almacén, teniendo en cuenta que el proceso de tamboreado se realiza en un cuarto cerrado y esa área no se puede mover, a no ser que se construya de nuevo en otra parte, desperdiciando así un recurso existente (Ver Figura 25). Por otra parte, se dejó la J7 que es la máquina encargada del corte de las

cuchillas contra la pared que separa el área de producción bajo tejado y la que se encuentra bajo la plancha del segundo piso de oficinas.

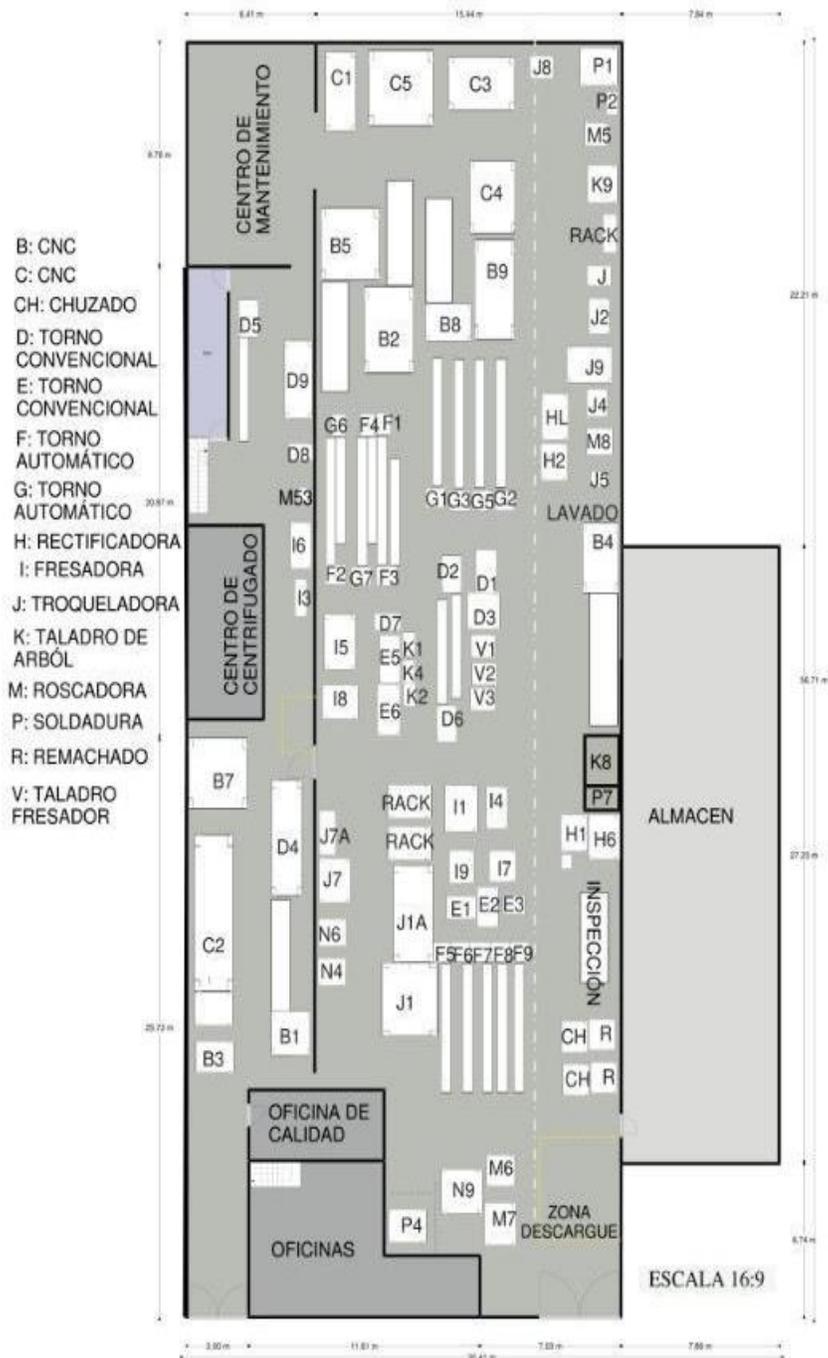


Figura 215. Alternativa 2, Distribución de Planta

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la segunda alternativa, la reducción de la carga distancia es aún mayor que en la alternativa 1 (Ver Tabla 25). Sin embargo, para la Válvula Bico, la reducción en la alternativa 1 fue más grande con un 56% que para la alternativa 2, y la diferencia de las otras reducciones en esta alternativa no son realmente significativas en comparación con la alternativa 1. Por lo tanto, la Alternativa 1 es la escogida como la mejor propuesta de distribución.

Tabla 25. Matriz carga distancia alternativa 2.

MATRIZ CARGA DISTANCIA ALTERNATIVA 2				
PRODUCTO	CARGA DISTANCIA [KG*M]		Reducción	Reducción %
	Actual	Anterior		
VÁLVULA BICO	1265	2034,33	769,33	38%
TUERCA	457,6	2996,2	2538,6	85%
CUCHILLA	6796	24201,5	17405,5	72%
EJE CUCHILLA	3286,9	8205,1	4918,2	60%
PLATO	10632	23984	13352	56%

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de recorrido para todos los productos con la nueva distribución es:

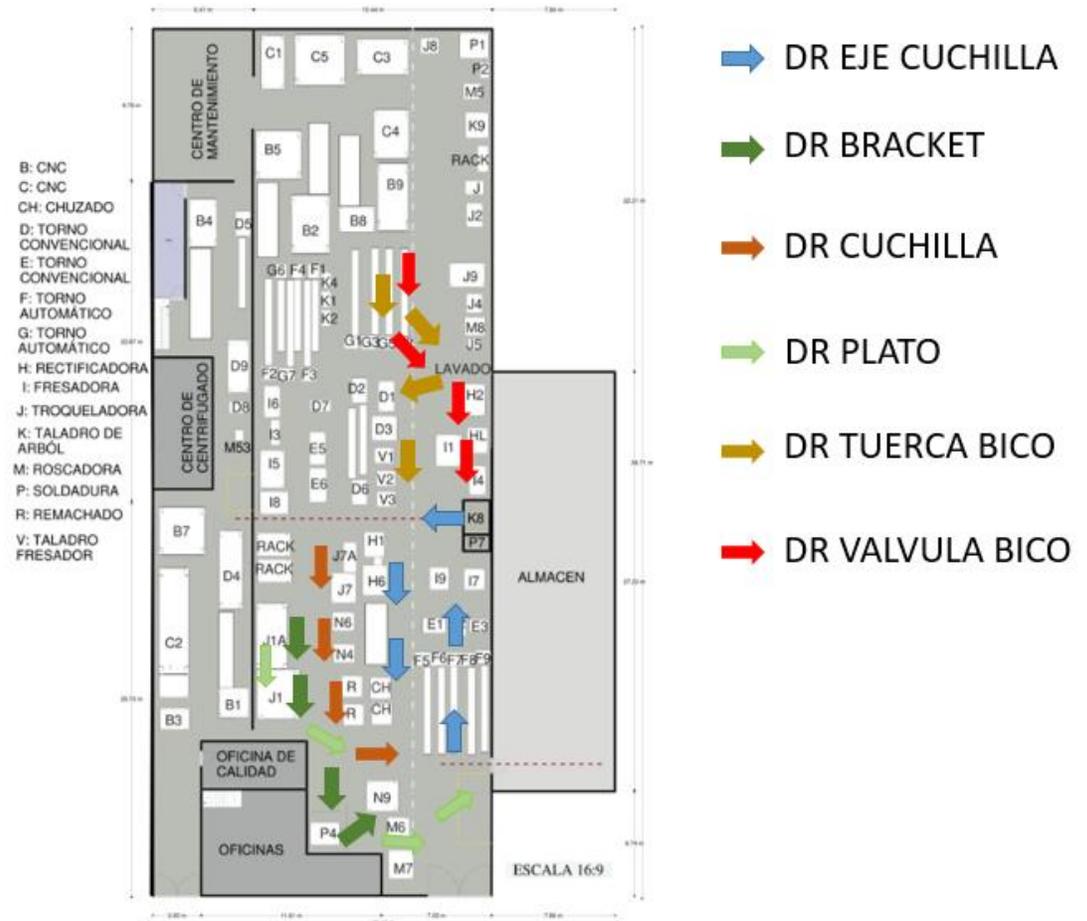


Figura 226. Diagrama de recorrido para los productos estrella, con la nueva redistribución de planta

Fuente: Elaboración propia

Por medio de la Figura 26 se observan celdas de manufactura en forma de U, L y V, los productos con mayor importancia en el carga distancia tales como cuchilla, bracket y plato, se sitúan más cerca del almacén, teniendo en cuenta que Provemel solo posee una entrada y salida, por su parte, válvula y tuerca bico también se acercaron a la entrada con todos sus procesos en línea, con el fin de eliminar recorridos entre operaciones, en conjunto toda la redistribución fue pensada para establecer líneas de producción para los productos estrella, reduciendo tiempos de recorrido que inciden directamente en la capacidad de procesamiento de la compañía y también brindando la posibilidad de definir un tiempo de ciclo corto, al final del cual se obtienen unidades terminadas.

4.3 Tiempos de puesta a punto

Según lo mencionado en los hallazgos, se decidió trabajar primero en el tiempo de puesta a punto del montaje de embutido cuya duración es la mayor, este consiste en el cambio de troquel.

El tiempo antes de SMED era de 85 minutos, como se observa en la siguiente figura (Ver Figura 27), donde se encuentran separadas las actividades internas de color amarillo y externas de color azul, siendo actividades internas aquellas que se realizan con la máquina apagada y externas “aquellas realizadas” con la máquina encendida.

Antes de SMED	Separación	1	2	3	4	5	6	7
---------------	------------	---	---	---	---	---	---	---

Figura 23. Antes de SMED, Montaje de cambio de troquel

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procede a convertir actividades que pudiesen ser externas, pero actualmente son internas (Ver Figura 28). En este paso se definió la actividad de búsqueda de nuevo troquel como una actividad externa, que consiste en tener todos los elementos necesarios para el montaje junto a la máquina, antes de parar la producción. No se eliminó ninguna actividad en este paso, debido a que se considera que todas son necesarias.

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

Figura 248. Etapa de conversión SMED; Montaje de cambio de troquel

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es el *Streamline*, que consiste en modificar las operaciones internas para que puedan eliminarse, reducirse o pasar a ser externas (Ver Figura 30). En este paso se eliminarán 20 minutos aproximadamente, del tiempo de montaje, pues la idea es estandarizar la referencia de los pernos ver figura 29 (dimensiones en mm), para que no sea necesario desmontar todo en el momento del cambio, y que el tiempo de ajuste también se reduzca notablemente, el diseño de estos pernos lo realizó Rodríguez, (2018), quien es el ingeniero mecánico contratado por la compañía para trabajar sobre los tiempos muertos de las operaciones de cambio de montaje, las placas por su parte varían según el producto que se vaya a trabajar. Este proceso de diseño ya lo está llevando a cabo la compañía. Se proyecta que, para mediados del año 2019, ya esté implementada la estandarización en el área de Troquelado.

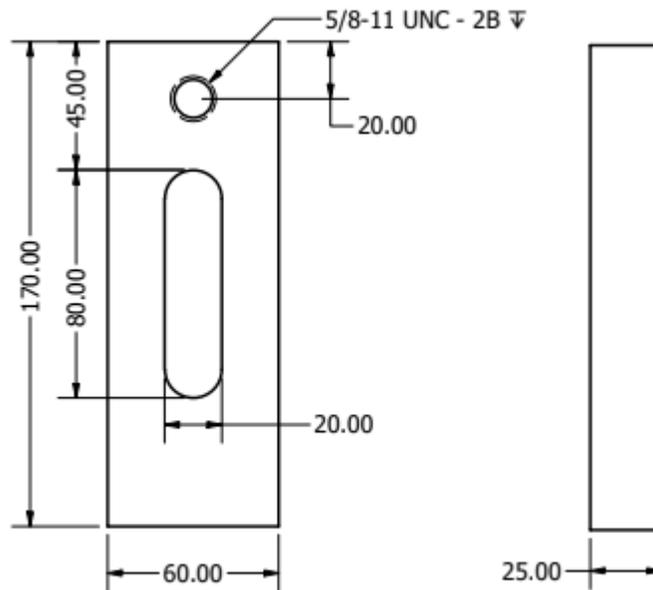


Figura 259. Pernos propuestos para la estandarización.

Fuente: (L. Rodriguez, email, 20 de marzo de 2019).

Después de SMED	Streamline	1	2	3	4	5	6	7
-----------------	------------	---	---	---	---	---	---	---

Figura 26. Después de SMED, Streamline

Fuente: Elaboración propia

El tiempo estimado del montaje de fresadora después de SMED es de 65 minutos, asumiendo que se realicen los cambios propuestos para los troqueles y los pernos. La reducción del tiempo muerto por medio de esta metodología para este montaje es de 20 minutos.

El proceso de SMED se realizó para cada montaje (ver Anexos KKKK- SSSS), a continuación, se estableció una tabla a modo de resumen (Ver Tabla 26), que consta de la descripción del montaje, la duración antes y después de aplicar la metodología SMED y finalmente la frecuencia con la que se realizan estas operaciones. Los nuevos tiempos estimados de puesta a punto, resultantes de la aplicación de SMED son:

Tabla 26. Matriz SMED antes y después.

Descripción del montaje	Duración antes de SMED[min]	Duración después de SMED [min]	Propuestas de modificación SMED	de Reducción %	Frecuencia del montaje
Montaje de embutido, cambio de troquel	85	65	Estandarización de pernos y cambio de actividades internas a externas	24%	Cada 15 días
Montaje de torno automático, afilado de buriles	40	25	Afilado de buriles de repuesto para que solo sea reemplazarlos, cambio de actividades internas a externas	38%	Cada 1-2 días
Montaje de fresadora, cambio de fresas	65	35	Establecer patrones de cambio para los discos de fresado	46%	Cada 8-10 días

Fuente: Elaboración propia

4.4 Reprocesos por fatiga

4.4.1 Pausas activas.

Según el Minsalud (2015) con respecto al seguimiento del programa de pausas activas en una organización:

El objetivo del seguimiento es medir y comparar los resultados de los trabajos de promoción y prevención de la actividad física empresarial, (de acuerdo a los registros y estadísticas sobre ausentismo general, ya sea por accidentes de trabajo, por enfermedad profesional y por enfermedad común). Las mediciones de la condición física se deben hacer periódicamente (semestrales, anuales, bienales), dependiendo de las posibilidades de cada empresa (pag 3).

Se aconseja contar con tres pausas activas para los trabajadores de la planta de producción, en los dos turnos que cuenten con labores continuas, monótonas, movimientos repetitivos y su jornada laboral sea igual o superior a 8 horas de trabajo, para evitar enfermedades profesionales que causen incapacidad a corto, mediano o largo plazo. Estas se definirían la primera en horas de la mañana a las 11am para el turno 1 cuya

duración es de 7 horas, las dos siguientes en horas de la tarde para el turno 2 cuya duración es de 8 horas, la primera a las 4:30 pm y la otra a las 7 pm, cada una con una duración de 5 minutos. Estas ayudan a disminuir el número de equivocaciones que cometen los operarios de las actividades monótonas, enfermedades como la del túnel carpiano, lesiones osteomusculares, o fatiga, mejorando la productividad de los operarios en la realización de todas sus labores y reduciendo el cansancio acumulado.

4.4.2 Diseño de los puestos de trabajo para la nueva distribución.

De acuerdo con la nueva distribución, en este apartado se van a diseñar los puestos de trabajo, basados en la economía de movimientos, la cual procura la reducción de los movimientos útiles, la eliminación de los movimientos ineficientes y sobre todo, que el puesto de trabajo se adapte al trabajador según sus características específicas, tales como edad, talla, peso, estatura y género, entre otras.

La operación se debe diseñar de tal manera que se eliminen los movimientos de quinto orden que involucran el tronco, se reduzcan o se eliminen los de cuarto orden, que involucran los hombros y que el área de trabajo esté organizada de tal forma, que las herramientas, materiales y máquinas, requieran solo movimientos de primer a tercer orden, simétricos, simultáneos, además, que las manos hagan actividades eficientes solamente, que la posición del trabajador sea cómoda y que se pueda trabajar tanto sentado como de pie, dado que el ser humano no debe estar mucho tiempo en alguna de las dos posiciones, necesita intercalar para reducir el estrés y la fatiga.

Dentro de las operaciones, hay máquinas iguales o similares, por lo tanto, el diseño del puesto de trabajo es muy similar, a continuación, en las siguientes tablas, se presenta el producto, la operación, el tipo de máquina involucrada y la zona de trabajo.

Tabla 27. Operaciones cuchilla.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Cuchilla	Troquelado 1 paso	Troqueladora (40-60 toneladas)	Troqueladora (40-60 toneladas)
	Troquelado 2 paso (Troquelado interno)	Troqueladora (40-60 toneladas)	Troqueladora (40-60 toneladas)
	Troquelado 2 paso (Troquelado externo)	Troqueladora (40-60 toneladas)	Troqueladora (40-60 toneladas)
	Remachado	Prensa	Prensa
	Chuzado y Empacado	Zona de empaque	Mesa de chuzado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Operaciones eje porta cuchilla.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Eje porta cuchilla	Mecanizado 1 paso	Torno Automático	Zona de torno
	Mecanizado 2 paso	Torno Convencional	Torno Convencional
	Fresado	Fresadora	Zona de fresado

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 28.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Eje porta cuchilla	Tamboreado	Tambor	Zona de tamboreado
	Laminado	Fresadora	Zona de fresado
	Rectificado	Rectificadora	Zona de rectificado
	Lapeado o Brillado	Brilladora	Zona de Brillado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Operaciones plato.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Plato	Troquelado 1 paso	Troqueladora (80-100 toneladas)	Zona de troqueladora
	Conformado figura y conformado embutido	Troqueladora (60-80 toneladas)	Zona de troqueladora
	Punzado	Taladro de árbol	Zona de taladro
	Estirado de pestaña	Troqueladora (20-40 Toneladas)	Zona de troqueladora

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Operaciones bracket.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
	Corte interno y dobléz interno	Troqueladora (80-100 toneladas)	Zona de troqueladora
	Corte Externo	Troqueladora (80-100 toneladas)	Zona de troqueladora
	Estampado	Troqueladora (60-80 toneladas)	Zona de troqueladora
Bracket	Conformado de figura dobléz interno	Troqueladora (60-80 toneladas)	Zona de troqueladora
	Ensamblaje		Mesa de Bodega
	Soldadura	Soldadora	Zona de soldadura
	Punzonado de agujeros	Roscadora	Zona de roscado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Operaciones válvula bico.

Proceso	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Válvula Bico	Mecanizado 1 paso	Torno Automático	Zona de torno
	Lavado	sopladora	Zona de solado
	Laminado de rosca	Torno convencional	Zona de torno
	Perforado	Torno Convencional	Zona de torno
	Empacado	Mesa	Zona de empacado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Operaciones tuerca bico.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Tuerca Bico	Mecanizado 1 paso	Torno Automático	Zona de torno
	Lavado		Zona de lavado
	Perforado	Torno Convencional	Zona de torno

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 32.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo
Tuerca Bico	Mecanizado 2 paso	Fresadora	zona de fresado
	Taladrado	Taladro fresador	zona de fresado
	Avellanado	Torno Convencional	Zona de torno
	Empacado	Mesa	Zona de empacado

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al criterio de diseñar solo un puesto de trabajo por tipo de máquina, se diseñarán 10 puestos de trabajo, presentados a continuación:

- Troqueladora o Prensa Hidráulica.
- Torno automático.
- Chuzado de cuchilla.
- Tamboreado.
- Brillado.
- Perforado.
- Ensamblaje de eje y cuchilla.
- Soldado.
- Lavado.
- Empacado.

Para cumplir con los principios de economía de movimientos, también de su tuvieron en cuenta los micro movimientos, según Niebel & Freivalds (2009), Gilbreth junto con su esposa a partir de la observación de trabajadores en obras de construcción, llegó a la conclusión de que para todo trabajo se realizan 17 combinaciones de movimientos, que ellos llamaron Therbligs (Gilbreth al revés) eficientes (ver Tabla 33) aquellos que contribuyen al desarrollo del trabajo e ineficientes (ver Tabla 34) que no representan avances en las tareas y deben eliminarse por medio de la aplicación de los principios de economía de movimientos, presentados a continuación:

Tabla 33. Therbligs eficientes de los Gilbreth.

Therbligs eficientes (Avanza el progreso del trabajo directamente. Puede reducirse, pero es difícil eliminarlo completamente).		
Therblig	Símbolo	Descripción
Alcanzar	RE	“Mover” la mano vacía hacia o desde el objeto; el tiempo depende de la distancia recorrida; por lo general es precedido por “Liberar” y seguido por “Sujetar”.
Mover	M	“Mover” la mano cargada; el tiempo depende de la distancia, el peso y el tipo de movimiento; por lo general es precedido por “Sujetar” y seguido por “Liberar” o “Posicionar”.
Sujetar o tomar	G	“Cerrar” los dedos alrededor de un objeto; comienza a medida que los dedos tocan el objeto y termina cuando se ha ganado el control; depende del tipo de sujeción; por lo general, es precedido por “Alcanzar” y seguido por “Mover”.
Liberar	RL	“Soltar” el control de un objeto, típicamente el más corto de los therbligs.
Preposicionar	PP	“Posicionar” un objeto en una ubicación predeterminada para su uso posterior; por lo general ocurre en conjunto con “Mover”, como cuando se orienta una pluma para escribir.
Utilizar	U	“Manipular” una herramienta para el uso para el que fue diseñada; fácilmente detectable, a medida que avanza el progreso del trabajo.
Ensamblar	A	“Unir” dos partes que embonan; por lo general es precedido por “Posicionar” o “Mover” y seguido por “Liberar”.
Desensamblar	DA	Es lo opuesto a “Ensamblar”, pues separa partes que embonan; por lo general es precedido por “Sujetar” y seguido por “Liberar”.

Fuente: *Niebel & Freivalds (2009, pag 364)*

Tabla 34. Therbligs ineficientes de los Gilbreth

Therbligs ineficientes (No avanza el progreso del trabajo. Si es posible, debe eliminarse)		
Therblig	Símbolo	Descripción
Buscar	S	Ojos o manos buscan un objeto; comienza a medida que los ojos se mueven para localizar un objeto.
Seleccionar	SE	“Seleccionar” un artículo de varios; por lo general es seguido por “Buscar”.
Posicionar	P	“Orientar” un objeto durante el trabajo, por lo general precedido por “Mover” y seguido por “Liberar” (en oposición a <i>durante</i> en Preposicionar).
Inspeccionar	I	“Comparar” un objeto con el estándar, típicamente a la vista, pero podría ser también con los demás sentidos.
Planear	PL	“Pausar” para determinar la acción siguiente; por lo general se lo detecta como un titubeo que precede a “Mover”.
Retraso inevitable	UD	Más allá del control del operario debido a la naturaleza de la operación, por ejemplo, la mano izquierda espera mientras la derecha termina una búsqueda prolongada.
Retraso evitable	AD	El operario es el único responsable del tiempo ocioso, por ejemplo, toser.
Descanso para contrarrestar la fatiga	R	Aparece periódicamente, no en cada ciclo; depende de la carga de trabajo física.
Parar	H	Una mano soporta el objeto mientras la otra realiza trabajo útil.

Fuente: *Niebel & Freivalds (2009, pag 364)*

De acuerdo con Niebel & Freivalds, 2009 existen varias maneras de eliminar o reducir estos Therbligs, para buscar, se pueden emplear contenedores, distinguir los objetos con colores, mejorar la distribución del lugar de trabajo y definir un sitio fijo para materiales y herramientas, en el caso del Therblig seleccionar se pueden usar piezas intercambiables, estandarizar herramientas o guardar piezas y materiales en recipientes separados, para alcanzar y mover, se pueden acortar las distancias, utilizar herramientas de transporte, aprovechar la gravedad, transportar mayores cantidades y eliminar los cambios bruscos de dirección, por su parte, para el Therblig sostener, se pueden usar plantillas, prensas o abrazaderas, usar dispositivos de sujeción o magnéticos, el movimiento liberar o soltar, se puede mejorar usando expulsos mecánicos, soltar varios objetos a la vez, liberar mientras se busca otra pieza o poner contenedores adecuados para soltar las piezas dentro. Además, para reducir el planear, se puede colocar las partes en secuencia y entrenar los trabajadores, para inspeccionar se pueden combinar las inspecciones con otras actividades, usar dispositivos de pruebas, elegir mejores métodos de inspección o mejorar la iluminación.

El proceso para diseñar el puesto de trabajo es el siguiente, se identifica la operación a trabajar, luego se divide en actividades para hacer el análisis de micro movimientos, finalmente se realiza un gráfico para ilustrar mejor la disposición del área de trabajo y la posición del trabajador en ella con respecto a los diferentes elementos que la componen, a continuación, la operación de estampado correspondiente a prensa hidráulica.

4.4.2.1 Operación: Estampado. (Prensa hidráulica).

Actividades.

- Con la mano derecha Toma la lámina de la mesa y la introduce en la máquina.
- Con el pulgar de la mano derecha prende la máquina.
- Troquelado de la máquina.
- Con la mano izquierda retira la lámina y deposita en la canasta de almacenamiento.



Figura 271. Puesto de trabajo estampado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Se sugiere unas pinzas magnéticas con soporte metálico, con aproximadamente 10 cm de largo, mango de 5 cm de ancho por 10 cm de alto y punta magnética de 4 cm de ancho por 4 cm de largo y 3 cm de profundidad (ver figura 33) en las puntas de estas, así sujetara el plato con mayor eficiencia, evitando introducir la mano dentro de la prensa hidráulica disminuyendo a su vez el riesgo de atrapamiento, el operario está parado para poder realizar esta operación, colocando una silla ergonómica en el puesto de trabajo se reducirá la fatiga del operario ver figura 56 y que este gire el tronco para tomar el bracket al realizar esta operación, se sugiere además levantar el contenedor de materia prima a 75 cm sobre el nivel del piso para evitar que el trabajador se agache.



Figura 282. Pinzas magnéticas para prensa

Fuente: calamit.es

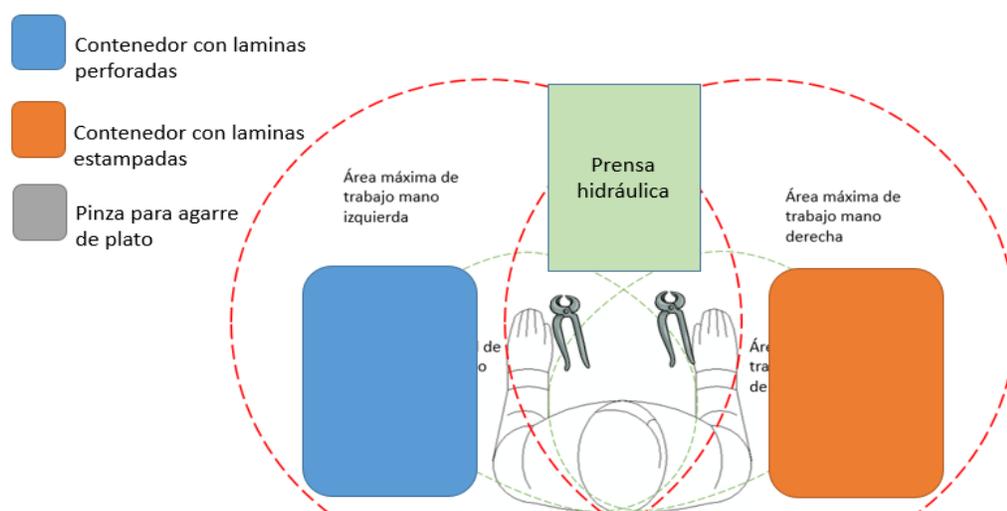


Figura 293. Puesto de trabajo diseño para operación de estampado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Operación: Mecanizado (Torno automático).

Actividades.

- Con el dedo pulgar enciende el torno automático.
- Corte de tuerca Bico.
- Con las dos manos saca la canasta del torno automático, deposita las tuercas Bico en la mesa para separar la viruta.
- Con las dos manos separa la viruta de las Tuercas Bico y las introduce en la canasta de almacenamiento.



Figura 304. Puesto de trabajo mecanizado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Cuando se realiza esta operación el operario introduce sus manos dentro de la mesa y busca cada una de las tuercas que están dentro de la viruta por el corte, se recomienda el uso de un tamiz metálico con orificios de 3 cm x 3 cm y dimensiones aproximadas de 60 cm x 40 cm ver figura , que esté a una altura de 8 cm sobre la mesa, evitándole al operario la actividad de separar las tuercas bico de la viruta, de igual forma, se recomienda implementar una rampa con 40 cm de largo y 20 cm de ancho con una inclinación de 15° (ver figura 37) en la mesa para enviar las tuercas directamente al contenedor de transporte, que debe situarse a la altura de los codos del operario, sobre un soporte.



Figura 315. Tamiz metálico

Fuente: alibaba.com



Figura 326. Rampa metálica para tuerca bico

Fuente: leroymerlin.es

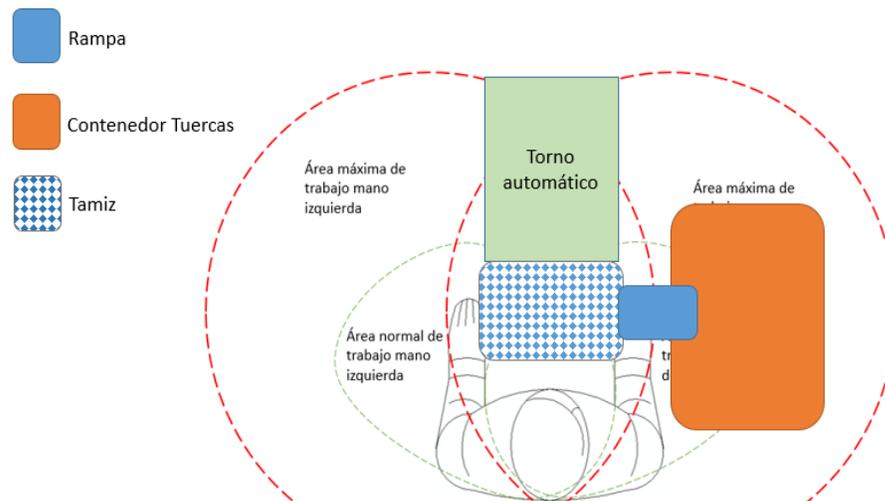


Figura 337. Puesto de trabajo diseñado para operación de mecanizado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3 Proceso: Chuzado y embalaje.

Actividades.

- Con la mano izquierda toma el lote de cuchillas del ensamblaje y los coloca sobre la lámina de cartón.
- Con la mano derecha introduce la cuchilla al cartón, mientras que la mano izquierda sostiene la lámina de cartón.
- Con las dos manos introduce las cuchillas a la canasta de almacenamiento y recubre la canasta con una bolsa.



Figura 348. Puesto de trabajo para chuzado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: En esta operación es recomendable contar con una silla ergonómica para que el trabajador pueda trabajar sentado o de pie (ver figura 40), con una mesa que se encuentre a 110 cm del suelo y con un contenedor de 60 cm de ancho por 40 cm de alto y 13 cm de profundidad en frente del operario ver figura 32, para que así pueda tomar ejes cuchilla ensamblados al mismo tiempo con cada una de sus manos, los contenedores deben ubicarse sobre la mesa a máximo 67 cm de la posición del operario, para que estén a su alcance cuando estira las manos.



Figura 359. Contenedor cuchillas ensambladas

Fuente: colcanastas.com

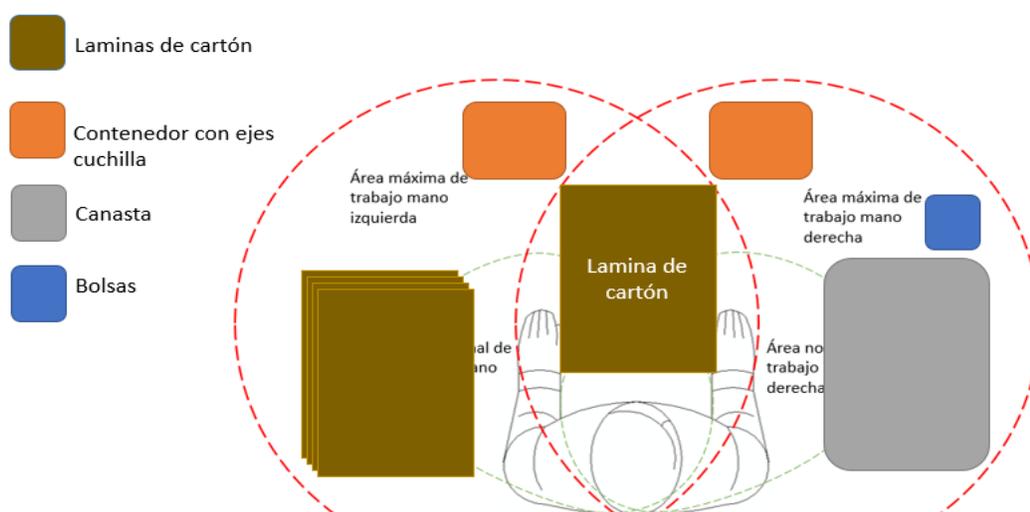


Figura 36. Puesto de trabajo diseñado para operación de chuzado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.4 Proceso: Tamboreado.

Actividades.

- Introducir el lote de ejes al tambor.
- Realizando el tamboreado del eje de cuchilla en tambor.
- Con las dos manos retirar los ejes del tambor y los deposita en la canasta.



Figura 37. Puesto de trabajo para tamboreado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Se recomienda el uso de una mesa a 100 cm del piso para colocar la canasta de almacenamiento, además, se recomienda usar una pala larga para sacar las piezas del tambor y eliminar la actividad de agacharse, esta debe contar con cabo de aproximadamente 70 cm de largo, cuya punta sea plástica o no posea filo, para evitar daños en los productos (ver figura 43).



Figura 382. Pala para desalimentado de tambor

Fuente: bellota.com

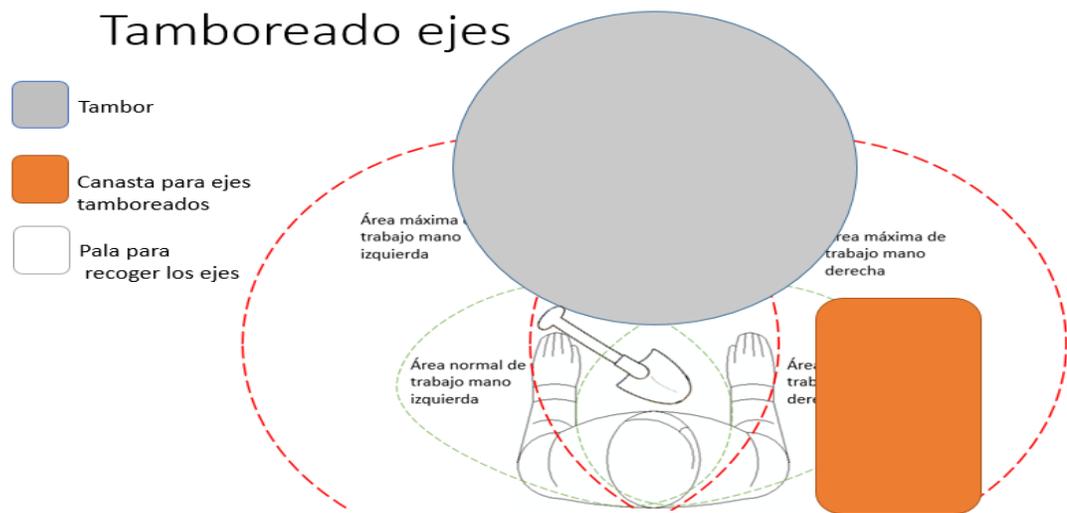


Figura 393. Puesto de trabajo diseñado para operación de tamboreado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.5 Operación: Brillado.

Actividades.

- Con la mano izquierda toma los ejes de la canasta e introduce un eje en la brilladora.
- Realiza el brillado la máquina.
- Con la mano derecha toma el eje de la máquina brilladora y lo deposita en la canasta de almacenamiento.



Figura 404. Puesto de trabajo para brillado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: En esta operación es recomendable introducir una rampa en la máquina de Brillado por la parte que salen las piezas terminadas, esta rampa debe tener 40 cm de largo y 20 cm de ancho con una inclinación de 35° (ver figura 47) así se elimina la actividad de sostener un número de ejes moverlos al contenedor de transporte, a su vez, es recomendable poner un soporte a una altura de 130 cm del suelo, puede ir ensamblada a mesa donde actualmente se pone el contenedor, debe tener resistencia para 20 kg de peso y tener un brazo vertical (ver figura 45), sobre el reposa un soporte acolchonado plano para apoyar el antebrazo con dimensiones 15 cm de ancho por 40 cm de largo ver figura 39 e la altura requerida para alimentar la máquina de piezas.

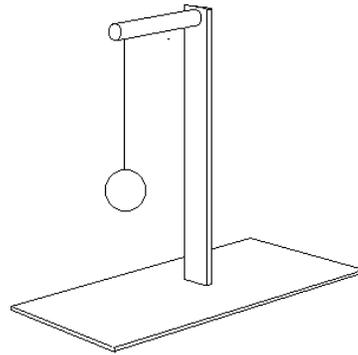


Figura 41. Soporte vertical para apoyo de antebrazo

Fuente: astroshop.es



Figura 42. Soporte acolchonado antebrazo

Fuente: medicalexp.es

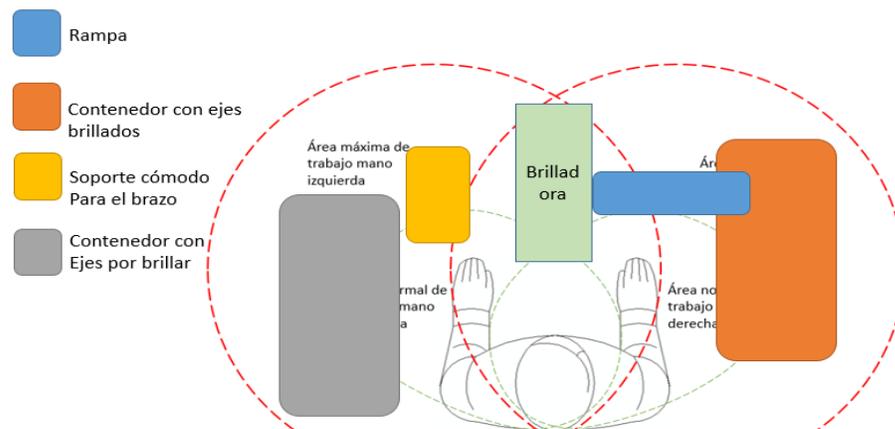


Figura 43. Puesto de trabajo diseñado para operación de tamboreado

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.2.6 Operación: Perforado.

Actividades.

- Con la mano izquierda inserta la Tuerca en la máquina, ordena las tuercas en línea recta.
- Con la mano derecha realiza la perforación de la Tuerca activando la máquina.
- Retira la tuerca de la máquina y la deposita en la canasta de almacenamiento.



Figura 44. Puesto de trabajo perforado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Se recomienda implementar el uso de una pinza magnética para tomar las tuercas del contenedor con un largo de 20 cm y 2 cm de radio (ver figura 48) y a su vez una guía para la tuerca justo en el centro de la broca ver figura 43, para eliminar la actividad de posicionar, además, para reducir la fatiga por estar de pie se recomienda implementar una silla ergonómica ajustable (ver figura 56).



Figura 45. Pinza magnética para tomar tuercas

Fuente: maqna.de

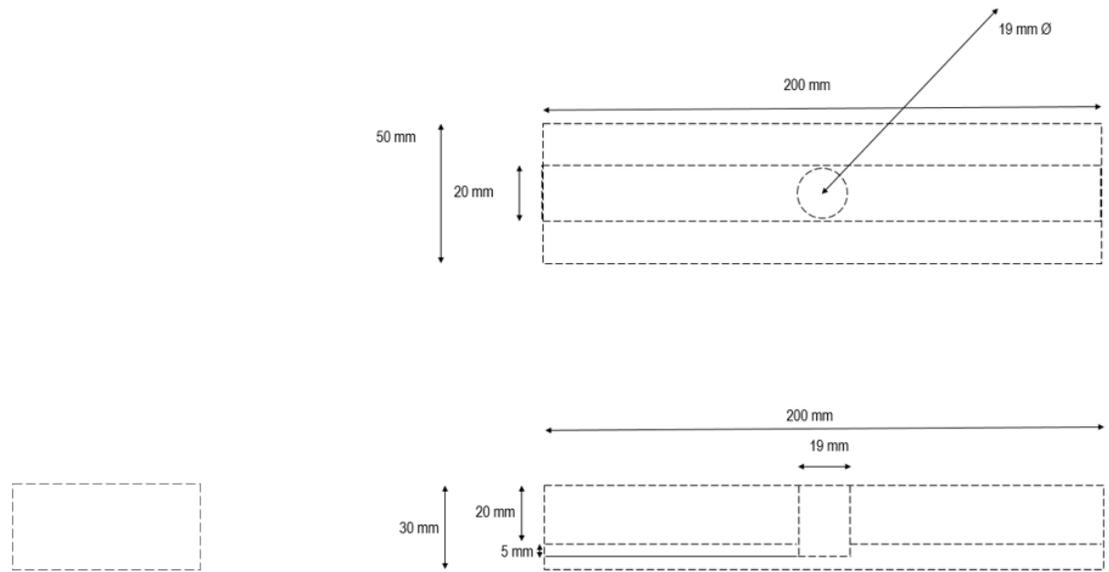


Figura 46. Soporte para tuerca bico con guía en el centro de la broca

Fuente: Elaboración propia

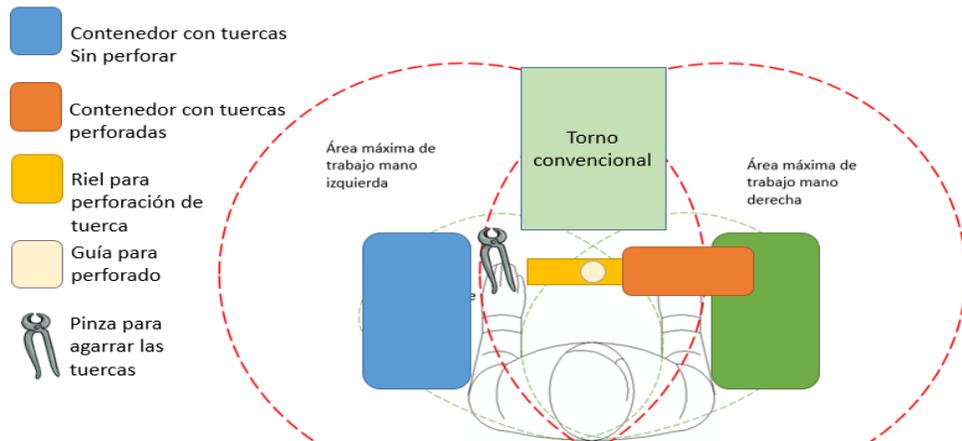


Figura 471. Puesto de trabajo diseñado para operación de perforado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.7 Operación: Remachado, eje con cuchilla.

Actividades.

- Con la mano derecha toma cuchilla inferior y superior, con la mano izquierda toma el eje, los une y los posiciona en la máquina de ensamble.
- Con la mano izquierda corre el carrito y se realiza el embale de eje y la cuchilla.
- Con la mano izquierda corre el carrito y retira el eje y lo coloca en la mesa.



Figura 482. Puesto de trabajo para remachado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Se recomienda eliminar la actividad de sostener el eje para posicionar las cuchillas, es mejor que a la izquierda exista un contenedor con cuchillas, a la derecha solo cuchillas y ejes, en el centro un soporte para posicionar el eje (ver figura 52) y que cada mano ponga una cuchilla, además, es recomendable también implementar una silla ergonómica con respaldo y una canasta de almacenamiento (ver figura 32), con una espuma EVA en el fondo, para evitar que las cuchillas toquen el contenedor y pierdan el filo o se enreden, la espuma debe tener dimensiones 58 cm de largo con 38 cm de ancho y 4 cm de grosor ver figura 47 para depositar las cuchillas ensambladas. De tal forma que el puesto quede así:

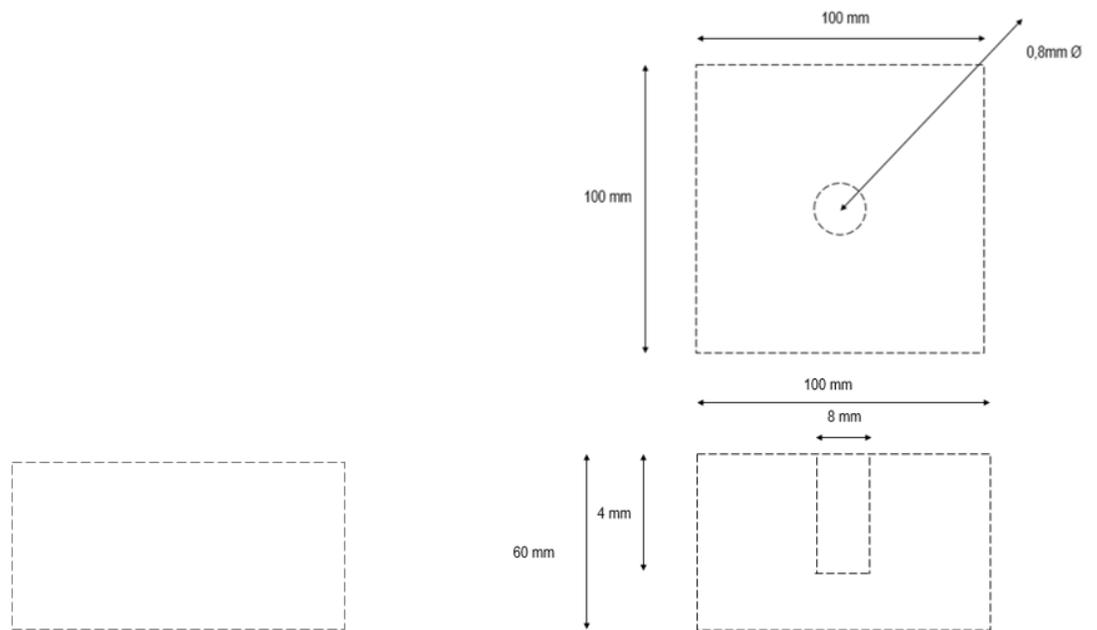


Figura 49. Plano para soporte de eje

Fuente: Elaboración propia

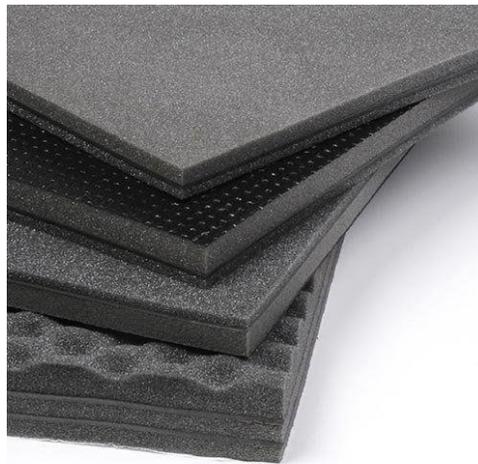


Figura 50. Espuma Eva

Fuente: foamland.es

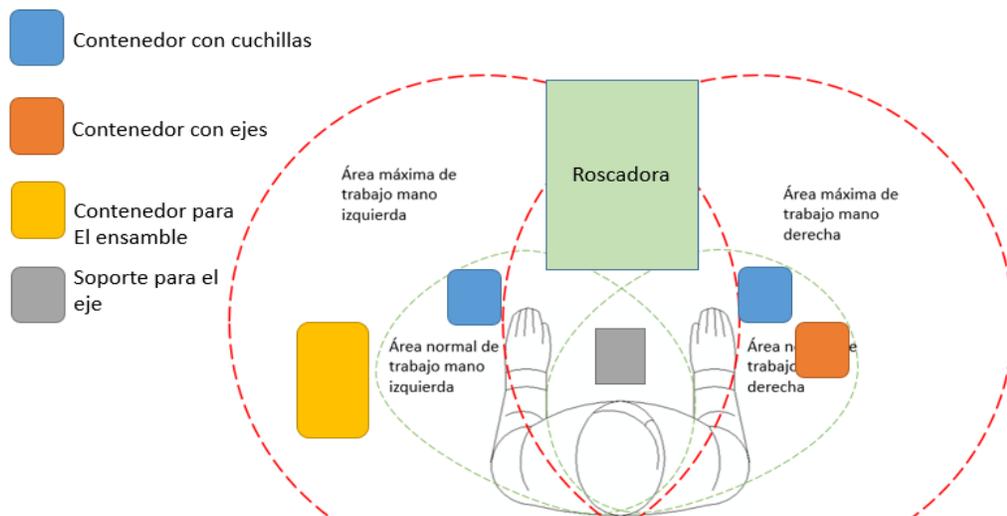


Figura 515. Puesto de trabajo diseñado para operación de remachado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.8 Operación: Soldadura.

Actividades.

- Con las dos manos toma el bracket, introduce la guía dentro del bracket y lo coloca en la máquina de soldado.
- La máquina realiza el soldado al Bracket.
- Con la mano izquierda introduce el bracket a un balde con agua y una solución salina y este lo deposita en la canasta de almacenamiento.



Figura 526. Puesto de trabajo para soldado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: El operario al realizar esta operación debe estar parado por la altura de la máquina soldadora, cuando él deposita los Bracket soldado lo deposita en un balde con una solución salina estando el balde en el piso, es aconsejable elevar el balde a 60 cm del suelo por medio de una mesa, también se recomienda subir la altura de los contenedores con los brackets a 100 cm del suelo, reduciendo considerablemente la fatiga causada por la actividad de agacharse.

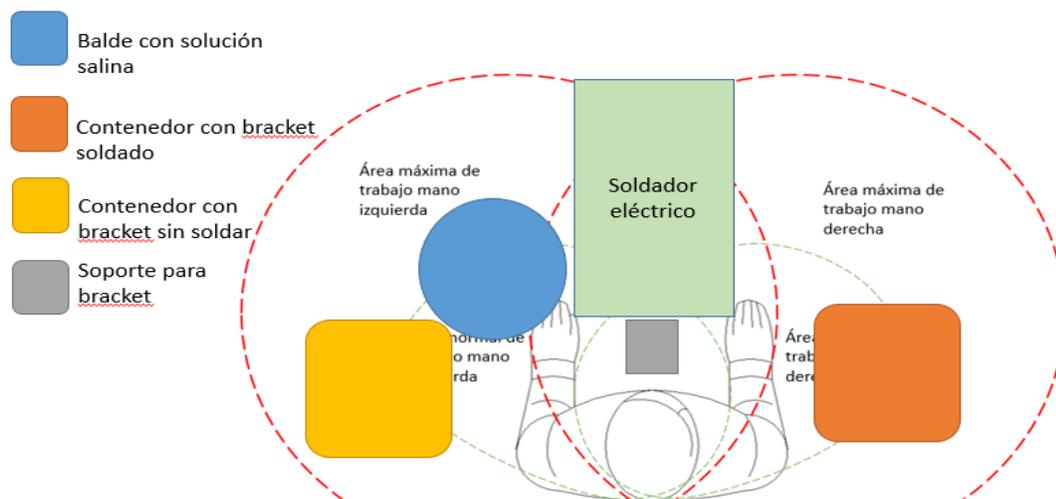


Figura 537. Puesto de trabajo diseñado para operación de soldado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.9 Operación: Lavado Tuerca Bico.

Actividades.

- Con las dos manos retira las Tuercas Bico de la canasta de almacenamiento y las deposita en una canasta para el lavado.
- Introduce la canasta a la máquina de lavado, con la mano derecha toma una manguera la cual expulsa aceite y realiza el lavado de las Tuercas Bico.
- Con la mano derecha toma una manguera con la cual expulsa aire a presión para sacar la viruta, con la mano izquierda retira la viruta de la canasta.
- Con las dos manos toma la canasta y deposita las Tuercas Bico en la canasta de almacenamiento.



Figura 548. Puesto de trabajo para lavado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Cuando el operario está realizando esta operación se encuentra de pie, instalando una silla ergonómica que se encuentre a 100 cm del suelo (ver figura 61), este podría elegir si trabajar de pie o sentado, alternar y reducir así la fatiga, además se recomienda posicionar la canasta grande con las tuercas para lavar, en la misma zona de lavado, pues constantemente la persona debe moverse del sitio, a sacar pequeñas cantidades en una cesta pequeña de plástico.

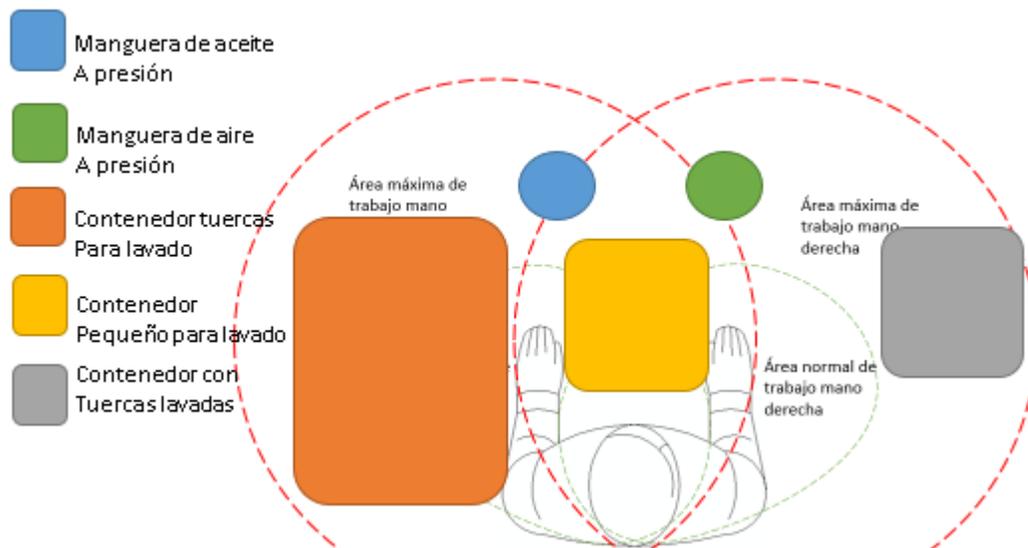


Figura 559. Puesto de trabajo diseñado para operación de lavado

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.10 Operación: Empacado.

Actividades.

- Toma la bolsa e introduce las válvulas.
- Con las dos manos toma la bolsa con las válvulas y la pesa, si se pasa del peso adecuado retira la cantidad necesaria y las deposita en otra bolsa.
- Con las dos manos toma la bolsa y la lleva a una máquina para el sellado, sosteniendo la bolsa con las dos manos y por último la retira y la deposita en la canasta de almacenamiento.



Figura 56. Puesto de trabajo para empaclado

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Al realizar esta operación en la última actividad el operario debe llevar a la máquina de sellado para el sello de la bolsa, este proceso se podría eliminar instalando encima de la mesa la máquina de sellado, también se recomienda despejar el área de trabajo, pues usualmente esta mesa de trabajo se llena de paquetes de otros productos, que restan espacio útil y podrían ubicarse en contenedores aledaños, o en un rack de productos empacados y listos para despachar, que tenga 180 cm de alto, 80 cm de ancho y 60 cm de profundidad, con una separación entre secciones de 30 cm de alto ver figura 54.



Figura 57. Rack para almacenamiento de productos empacados para despacho

Fuente: solucionesplasticas.com

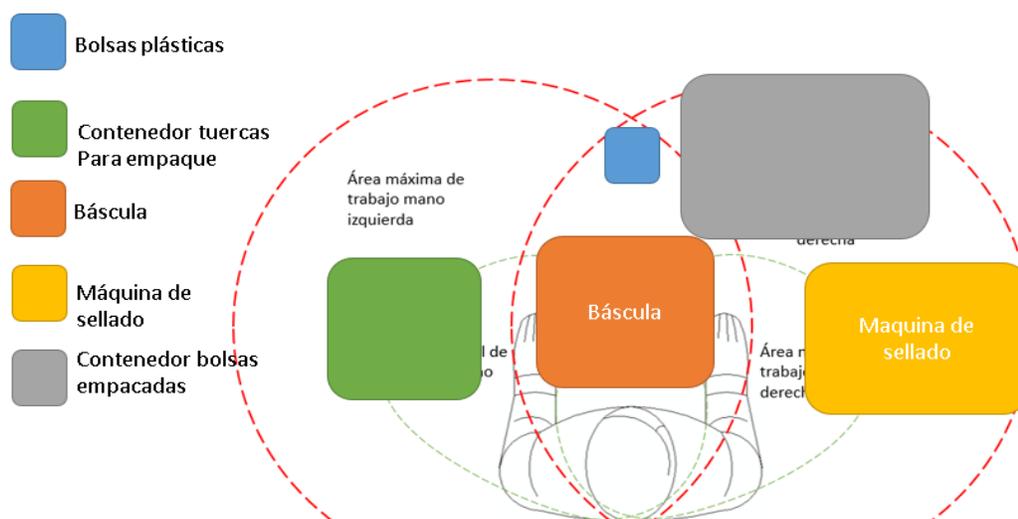


Figura 58. Puesto de trabajo diseñado para operación de empaquetado

Fuente: Elaboración propia

El anterior análisis se realizó de acuerdo a los Therbligs de cada una de las operaciones seleccionadas de los productos estrella, se recomienda su implementación, a continuación, un cuadro resumen del producto, proceso, máquina, zona de trabajo y las sugerencias de diseño del puesto de trabajo.

Silla Ergonómica para los puestos de trabajo. ESD Unitec 9651E Tejido

La silla es fabricada por la compañía sillas Tylor, es una silla ergonómica, regulable en altura, cuenta con descanso pies y sus características son las siguientes:

- Asiento y espaldar en Espuma de poliuretano SKINFOAM, inyectada, con acabado, densidad 60-80 gr/cm³, no deformable.
- Regulación de graduación de altura.
- Aro descanso pies de diámetro 460 mm, en Acero cromado y Polyamid, Graduado en altura mediante perilla.
- Base de 5 aspas Diámetro 600 mm.
- Deslizadores en Nylon, capacidad de carga individual: 50kg (total: 250 kg)
- Altura mínima del asiento: 580 mm
- Altura máxima del asiento: 835 m

Estas características son las ideales, reduciendo la fatiga de los operarios, mejorando las posturas e igualmente evitando lesiones musculares del operario cuando se encuentran realizando cada una de las actividades.



Figura 59. Silla ergonómica sugerida para puestos de trabajo

Fuente: homecenter.com.co

A continuación a modo de resumen, se presenta una tabla con la sección de producto, operación trabajada, máquina, zona de trabajo y las sugerencias de diseño, formuladas en este apartado de diseño de puestos de trabajo, ver Tabla 35.

Tabla 35. Tabla resumen del diseño de los puestos de trabajo.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo	Sugerencias de diseño
Cuchilla	Chuzado y Empacado	Zona de empaque	Mesa de chuzado	Contenedor de almacenamiento
Cuchilla	Remachado	Roscadora	Zona de Prensa	Silla ergonómica, contenedor de almacenamiento
Eje porta cuchilla	Mecanizado 1 paso	Torno Automático	Zona de torno	Contenedor

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 35.

Producto	Operación	Máquina	Zona de Trabajo	Sugerencias de diseño
Eje porta cuchilla	Tamboreado	Tambor	Zona de tamboreado	Contenedor de almacenamiento
Eje porta cuchilla	Brillado	Brilladora	Zona de Brillado	Contenedor de almacenamiento
Bracket	Soldadura	Soldadora	Zona de soldadora	Aumentar la altura del contenedor del bracket
Bracket	Estampado	Troqueladora	Zona de Troquelado	Pinzas magnéticas
Válvula Bico	Lavado	Sopladora	Zona de solado	Puesto de lavado
Tuerca Bico	Perforado	Torno Convencional	Zona de torno	Silla ergonómica
Tuerca Bico	Empacado		Zona de empaque	Puesto de empaque

Fuente: Elaboración propia

4.6 Resumen de las propuestas

Como primera medida, las propuestas desean mejorar el nivel de utilización de las máquinas presentes en los procesos de los productos estrella, teniendo en cuenta que la prensa hidráulica J1 tiene mayor capacidad y funciones similares a la prensa M6, cuyas operaciones son las de mayor duración en los procesos en los que se encuentra involucrada.

La segunda propuesta es una redistribución de planta por producto, que tiene la característica de disminuir el inventario de producto en proceso, reducir las distancias entre operaciones y, además, brinda la posibilidad de fabricar, unidades completas durante el tiempo de ciclo, lo que posibilita entregas parciales de material a los proveedores para, a su vez, reducir los inventarios de producto terminado en el área de almacenamiento y

garantizar la disponibilidad de material contribuyendo con la reducción de los tiempos de procesamiento

Con respecto a la reducción de los tiempos de puesta a punto por medio de la metodología *SMED* se llegó a reducciones entre el 46% y el 62% del tiempo empleado para los montajes.

Finalmente, en cuanto a las pausas activas, la compañía cuenta con una de 5 minutos en el turno de la mañana cuya duración es 7 horas de 6 am a 1 pm, teniendo en cuenta que para el caso del turno 1, las personas tienen 15 minutos de desayuno de 9:15 am a 9:30 am, luego almuerzo de 1 pm a 2 pm. Por su parte el turno 2 de la tarde que inicia a las 2 pm hasta las 10 pm con una duración de 8 horas, tiene una sola pausa activa de 5 minutos a las 4 pm, a partir de las observaciones se identificó fatiga por tiempo prolongado de trabajo, por lo tanto, se proponen dos pausas activas para este turno, la primera las 4:30 pm y la segunda a las 7 pm, con el fin de optimizar las labores del operario durante el tiempo productivo. En cuanto al diseño de puestos de trabajo se diseñaron 10 puestos, eliminando los movimientos de quinto orden, reduciendo los de cuarto y enfocándose en mantener los movimientos involucrados para todas las actividades entre el primer y tercer orden.

Teniendo en cuenta todas las mejoras, se realizó una estimación del nuevo *OEE* que tendrían las líneas de producción correspondientes al plato, bracket y eje porta cuchilla. A continuación, en la tabla se puede ver el *OEE* estimado para plato. Dado que las propuestas no se han implementado, se estima en un 90% de rendimiento derivado de garantizar la materia primera para el procesamiento, reducción en los tiempos de alistamiento y mantenimiento del flujo material en la línea de producción, además de un 90% de disponibilidad teniendo en cuenta que se van a equilibrar las líneas de proceso y todas las máquinas van a estar en proceso productivo en la mayor parte del tiempo, por su parte, el indicador de calidad se mantiene igual, pues las propuestas no apuntaban a mejorar la calidad del producto.

Tabla 36. *OEE* estimado para plato

Plato					
Proceso	Máquina Utilizada	Rendimiento	Disponibilidad	Calidad	OEE
Troquelado 1 paso	Troqueladora	90,00%	90,00%	97,00%	78,57%
Conformado de Figura	Troqueladora	90,00%	90,00%	97,00%	78,57%
Embutido	Troqueladora	90,00%	90,00%	97,00%	78,57%
Punzado	Taladro de Árbol	85,00%	90,00%	97,00%	74,21%
Estirado de pestaña	Prensa Hidráulica	90,00%	90,00%	97,00%	78,57%

Fuente: *Elaboración propia*

Con base en lo anterior, se calculó la variación porcentual de los *OEE*, teniendo variaciones hasta del 119% en el caso del troquelado, pues esta operación se realiza en la J1 y esta máquina presentaba alto nivel de ocio.

Tabla 37. Variación *OEE* para plato

Proceso	Máquina Utilizada	OEE actual	OEE estimado	Variación OEE
Troquelado 1 paso	Troqueladora	35,85%	78,57%	119%
Conformado de Figura	Troqueladora	70,00%	78,57%	12%
Embutido	Troqueladora	56,02%	78,57%	40%
Punzado	Taladro de Arbol	65,96%	74,21%	13%
Estirado de pestaña	Prensa Hidráulica	70,85%	78,57%	11%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Variación *OEE* para bracket

Proceso	Máquina Utilizada	OEE	OEE estimado	Variación OEE
Corte Interno y Doble interno	Troqueladora	47,82%	78,57%	64%
Corte Externo	Troqueladora	47,82%	78,57%	64%
Estampado	Troqueladora	0,673554	0,7938	18%
Conformado	Troqueladora	0,5338125	0,7857	47%
Soldadura a Proyección	Soldadora	0,707906	0,7857	11%
Punzado de Agujeros	Prensa Hidráulica	0,73304	0,80262	9%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Variación *OEE* para eje porta cuchilla

Proceso	Máquina Utilizada	OEE	OEE estimado	Variación OEE
Corte	Torno Automático	53,08%	78,57%	48,03%
Mecanizado	Taladro de Arbol	70,91%	78,57%	10,81%
Fresado	Fresadora	61,38%	78,57%	28,01%
Tamboreado	Tambor	45,86%	79,38%	73,08%
Laminado	Fresadora	66,78%	78,57%	17,65%
Rectificado	Rectificadora	73,30%	79,38%	8,29%
Lapeado	Brilladora	63,36%	80,19%	26,56%

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente capítulo, se definirán todos los costos de implementación de las propuestas y también el beneficio de implementarlas.

5. COSTO Y BENEFICIO DE LAS PROPUESTAS

En este capítulo se tratarán los costos vs los beneficios de la implementación de las propuestas formuladas en el capítulo anterior. Primero se tratarán los costos por secciones de la propuesta y posteriormente los beneficios, tanto económicos como de nivel de seguridad y comodidad para el desarrollo de las distintas labores.

5.1 Costos

Primero se establece el costo energético y de mano de obra resultante de un mayor uso de la prensa hidráulica J1. Posteriormente, se tratarán los costos correspondientes a la planta que implica la parada de la planta por algunos días, el uso de montacargas para movilización de cargas, la instalación de nuevos puntos de luz, el desplazamiento de chimeneas para la expulsión de vapores, la movilización de algunas instalaciones hidráulicas y la reconstrucción del tejado para disminuir el riesgo de goteras, además del aislamiento del área de chuzado para garantizar niveles de ruido adecuados.

Luego se identifican los costos derivados de las mejoras planteadas por la metodología *SMED* que implican compra de nuevos troqueles, establecimiento de nueva documentación y procedimientos para el caso del cambio de fresas. Finalmente, se trata el costo mensual en pesos colombianos COP proveniente del tiempo de producción perdido a causa de la incorporación de una nueva pausa activa en el turno 2.

5.1.1 Costos de utilización de la máquina.

Con la implementación de la J1 a la línea de producción del Plato en las operaciones de embutido y conformado de figura, se aumentan las horas hombre necesarias para esta máquina teniendo en cuenta que solo cuenta con dos operarios. Además, aumentará el consumo de energía eléctrica resultante de su uso. El resumen de estos costos se encuentra detallado teniendo en cuenta que se aumenta en 165 las horas trabajadas, primero se analiza el costo del uso de la máquina, partiendo de las horas trabajadas, luego el costo unitario de kW/h y finalmente el consumo de kW/h de la máquina, por otra parte, el cálculo del costo de horas hombre, es la multiplicación de las horas trabajadas por el costo en COP de cada hombre, ver Tabla 40.

Tabla 40. Costos de utilización prensa hidráulica J1.

Costo utilización máquina J1			
Horas trabajadas	Costo [kW/h]	Consumo de la máquina por hora [kW/h]	Total, consumo mensual
165	\$410	35	\$ 2.367.750
Horas trabajadas	Costo de horas hombre		Total, consumo mensual
165	\$ 5.937		\$ 979.687
Total			\$ 3.347.435

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Costos de redistribución.

En este apartado se establecen los costos derivados del movimiento de diferentes máquinas a través de la planta de producción de Provemel, haciendo uso de maquinaria con capacidad para mover cargas de más de 1 tonelada, como montacargas y cargadores. También los costos de mover tomas de corriente, creación de un nuevo punto de lavado para acortar la distancia entre la operación mecanizado 1er paso, lavado y laminado rosca de los productos Tuerca y Válvula Bico.

Adicionalmente, se establecerán los costos de movilizar chimeneas para la expulsión de gases de las diferentes máquinas, a lo largo del tejado, garantizando el nivel de sellamiento adecuado y reemplazando aquellas tejas que se encuentren en mal estado por el desgaste, teniendo en cuenta que están distribuidas de tal forma que las tejas transparentes se ubican sobre los puestos de trabajo para el aprovechamiento de la luz natural.

A Continuación, se presentan los proveedores encontrados en Colombia para los diferentes materiales requeridos para adelantar las adecuaciones mencionadas (ver tabla 41).

Tabla 41. *Proveedores de materiales.*

PROVEEDORES DE MATERIALES					
Proveedores de tejas Polipropileno traslucida	Proveedores eléctricos	Proveedores de pintura Industrial	Proveedor de cintas adhesivas antideslizantes	Proveedor de mano de Obra para las instalaciones de luz, agua y modificaciones del tejado	Proveedor de equipos de levante
Home center	Suministros de materiales eléctricos Ltda.	Hempel Colombia	Peggatron	Arso Ingeniería	Grúas y Equipos SAS
Eternit	Electroiluminaciones Tavera hermanos Ltda.	Cubriseal polyurethane	Abrasivos y recubrimientos	Soluciones I	Grúas Titán SA
Ferreteria Samir		Cubriseal polyurethane	A&p seguridad	Doc. House	Transportes Sandoval SA
Acuista		Pisos Gama			
Cristacryl					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Costos de redistribución de planta.

Costos redistribución de planta				
Material	Especificación	Unidades	Precio unitario	Precio total
Pintura	Laca tráfico pesado	5	\$1.000.000	\$5.000.000
Pintura	Epóxido pesado	5	\$1.000.000	
Piso	Levantarlo y ponerlo			\$300.000.000
Tejas	Plástico Translúcido	98		\$150.000.000
Chimeneas	Movimiento de chimeneas	12	\$45.000	\$540.000
Redistribución	Movimiento de J1	1	\$3.000.000	\$3.000.000
Redistribución	Movimiento maquinaria	1	\$30.000.000	\$30.000.000

Fuente: Elaboración propia

Continuación Tabla 42.

Material	Especificación	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cinta antideslizante	Cinta en PVC de alta calidad	86	\$50.000	\$4.300.000
Bodega	Bodega	1	\$300.000	\$1.500.000
Mano de obra	Operarios	10	\$900.000	\$9.000.000
Total				\$508.340.000

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Costos de aplicación metodología SMED.

La metodología SMED es aplicada en industrias grandes que desean mejorar sus procesos, para su implementación en Provemel, se requiere nueva documentación, modificaciones de herramientas y troqueles, además, capacitación para que la empresa inicie el proceso de mejora continua, a continuación, el resumen de los costos, ver tabla 43.

Tabla 43. Costos de implementación metodología SMED.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍA SMED				
Requerimiento	Nueva documentación	Pernos y nuevos buriles	Capacitación Smed(2) personas	Requerimiento total
Proveedor	Provemel Ltda.	Provemel Ltda.	Universidad América	
Costo	\$ 100.000	\$ 6.000.000	\$ 2.000.000	\$8.100.000

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Costos variables derivados del aumento en la capacidad de procesamiento

Con la propuesta se reduce el costo unitario de producción, no obstante, aumenta la compra de materia prima para el caso de plato y bracket, por su parte el costo de materia prima para cuchilla, eje porta cuchilla, válvula bico y tuerca bico no se contempla, pues el grupo SEB cuando envía las ordenes de pedido, suministra la materia prima para estos productos.

5.2 Beneficios

En este apartado se tratan los beneficios de las propuestas con el fin de compararlos con los costos de implementación de la propuesta, primero se mostrará la reducción en los tiempos de procesamiento, posteriormente el aumento en la capacidad de producción, luego la disminución de la cantidad de material en proceso y finalmente el costo beneficio.

5.2.1 Capacidad de procesamiento.

La propuesta también tiene como beneficio la disminución de los tiempos de procesamiento entre un 50,40% y un 68,11%, para calcular estos tiempos se tomaron como base el tiempo estándar definido por medio del estudio de tiempos y las operaciones con mayor tiempo de producción de cada producto, pues teóricamente, con el diseño de celdas de manufactura y teniendo el sistema cargado, el tiempo de ciclo para la producción de una unidad completa, corresponde a aquella operación con la mayor duración, en la siguiente tabla (Ver Tabla 44) se muestra el tiempo actual de procesamiento y el tiempo con la implementación de la propuesta, además de la disminución porcentual.

Tabla 44. Variación de los tiempos de procesamiento.

Producto	Tiempo actual [seg/und]	Tiempo con la propuesta [seg/und]	Variación
Cuchilla	27,11	12,06	55,51%
Eje Cuchilla	49,59	18,86	61,97%
Bracket	116,98	44,28	62,15%
Plato	94,15	46,7	50,40%
Válvula Bico	44,43	16,63	62,57%
Tuerca Bico	76,8	24,49	68,11%

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la capacidad de producción se calculó dividiendo los segundos totales de una jornada de 8 horas, 28800 sobre cada uno de los tiempos estándar para los diferentes productos, en la tabla 45, se puede observar que la capacidad aumenta entre un 101% y un 213%.

Tabla 45. Variación de la capacidad de producción

Producto	Capacidad de producción actual [und/día]	Capacidad de producción con la propuesta [und/día]	Variación %
Cuchilla	1062	2388	124,79%
Eje Cuchilla	580	1527	162,94%

Bracket	246	650	164,18%
Plato	305	617	101,61%
Válvula Bico	648	1731	167,17%
Tuerca Bico	375	1177	213,60%

5.2.2 Producto en proceso.

A través de la redistribución de planta, la propuesta tiene como beneficio la disminución del inventario de producto en proceso y la garantía del flujo continuo de material. A continuación, en la tabla 46 se muestra el inventario de material en proceso y el inventario con la propuesta, el inventario actual se calculó sumando las unidades en espera de transporte para cada operación dentro de cada proceso, pues como se mencionó anteriormente, éstas se acumulan por varios días, por otra parte, el material en proceso de la propuesta, son las unidades de material en proceso que se acumulan antes de la operación de mayor duración, también se muestra la variación porcentual entre el 19,77% y el 92,02%

Tabla 46. Variación del inventario de material en proceso.

Producto	Inventario actual [und]	Inventario con la propuesta [und]	Disminución %
Cuchilla	25.600	7000	72,65%
Eje porta cuchilla	67000	10000	85,07%
Bracket	8.167	650	92,04%
Plato	2.470	700	71,65%
Tuerca bico	16.500	2300	86,06%
Válvula bico	8.725	7000	19,77%

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Beneficios económicos.

Para calcular el costo beneficio de este proyecto, dadas las características del mismo, se tomó como base el aumento en la capacidad de producción que se obtiene a través de las propuestas. De esta manera se desarrolla la siguiente evaluación en los beneficios:

En función de los datos aportados por la empresa para el último trimestre de año anterior ver Tabla 47 con el cual trabaja la empresa, se calculan los ingresos derivados tomando como referencia el mes de diciembre, teniendo en cuenta la posibilidad de cumplir con el pedido a tiempo, por medio del aumento en la capacidad de producción.

Tabla 47. *Forecast* para los productos estrella, septiembre a diciembre de 2018

Mes	Septiembre [und/mes]	Octubre [und/mes]	Noviembre[und/mes]	Diciembre[und/mes]
Plato	15.163	15.718	15.041	13.824
Bracket	3.121	3.236	3.096	3.321
Cuchilla	303.120	275.600	280.600	294.520
Eje Cuchilla	151560	137.800	140.300	147.260
Válvula Bico	37.076	35.600	33.100	38.815
Tuerca Bico	37.076	35.600	33.100	38.815

Fuente: Almacenista Provemel Ltda.

De acuerdo con la problemática identificada y calculando las unidades que la empresa puede producir según el número de máquinas que posee, los retrasos en las entregas se deben a que la capacidad instalada no alcanza a cubrir la demanda, por lo tanto, basados en la demanda insatisfecha se calcularon los ingresos derivados de la propuesta, con respecto a diciembre de 2018, a continuación en la Tabla 48 se puede observar que los ingresos mensuales derivados de la implementación de la propuesta son \$355.978.519

Tabla 48. Aumento de ingresos derivados del aumento en la capacidad de producción.

Producto	Capacidad de producción actual [und/día]	Capacidad de producción con la propuesta [und/día]	Proyección de ventas diciembre 2018 [und]	Demanda no cumplida por la capacidad actual	Proyección de ventas [und]	Precio de venta	Aumento de los ingresos mensuales
Cuchilla	1062	2388	294520	56%	163540	\$ 3.407,00	\$ 311.148.614,63
Eje Cuchilla	580	1527	147260	62%	91326		
Bracket	246	650	3321	62%	2064	\$ 3.409,00	\$ 7.036.616,55
Plato	305	617	13824	51%	6990	\$ 2.728,00	\$ 19.069.860,72
Válvula Bico	648	1731	38815	63%	24285	\$ 771,00	\$ 18.723.427,67
Tuerca Bico	375	1177	38815	68%	26448		
Total							\$ 355.978.519,57

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Otros beneficios.

Como beneficio adicional se prevé mejoramiento de las condiciones de seguridad en la planta derivadas de cambios en la distribución, demarcación de pasillos y corredores, mayor orden, aseo y reparaciones locativas, mejor clima laboral, reducción de la tasa de ausentismo y enfermedades laborales por lesiones musculares,

5.3 Resumen de costos y beneficios

En la siguiente tabla (Ver Tabla 48), se muestran los costos variables y fijos de la implementación de la propuesta, como también los beneficios mensuales derivados de la misma. Para los costos de inversión, se definen dos principales, aquellos correspondientes a la redistribución de planta y los que corresponden a la implementación de la metodología *SMED* para la reducción de los tiempos de puesta a punto. En los costos de distribución de planta se incluyeron arreglos locativos por sugerencia de la empresa, teniendo en cuenta que se va a parar la planta por una semana y se van a sacar todas las máquinas, se considera pertinente realizar reforzamiento del piso, limpiar y pintar nuevamente las instalaciones de la planta con pintura industrial, y cambiar el tejado que se encuentra en mal estado, entre otros.

Tabla 49. Resumen del costo beneficio. Elaboración propia

Costo único de inversión	
Costo de redistribución de planta	\$ 508.340.000
Costo de la implementación de SMED	\$ 10.100.000
Total Costo único	\$ 528.440.000
Costo variable mensual de propuesta	
Costo de utilización de la J1	\$ 3.347.435
Costo variable por compra de materia Prima	\$ 24.181.836
Total Costo variable	\$ 27.529.271

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los beneficios se pueden observar reducciones de hasta el 68% en los tiempos de procesamiento, 213% en cuanto al aumento de la capacidad de producción y una disminución del 85% en el inventario de material en proceso, por su parte el aumento en la capacidad de producción puede producir un aumento en los ingresos percibidos por la compañía teniendo en cuenta que con la implementación entregarían los pedidos a tiempo y también abre la posibilidad de por medio de estrategias de mercadeo aumentar las ventas y también mantener satisfecha una demanda hasta 51% mayor a la que se presenta actualmente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió con el objetivo de reducir los tiempos de procesamiento a través de la propuesta de mejoramiento.

En cuanto a la situación actual, el proceso productivo es lento debido a la capacidad de procesamiento de las máquinas, largos tiempos de puesta a punto, sobre recorridos entre operaciones y reprocesos debido a la fatiga.

La distribución de planta actual está bien pensada si se tiene en cuenta la amplitud del portafolio de Provemel. Sin embargo, cuando se presentan cambios en la oferta y la demanda, sobre todo cuando son tan significativos como los observados en los últimos 4 años, es necesario considerar una redistribución de planta, que acarrea un costo, pero también brinda la posibilidad de aumentar la flexibilidad para adaptarse a las nuevas necesidades de producción, minimizando también los costos de almacenamiento de producto en proceso, también brindando la posibilidad de definir un tiempo de ciclo, al final del cual se obtienen unidades terminadas.

La reducción de los tiempos de puesta a punto por medio de la metodología *SMED* llegó a reducciones hasta del 46% del tiempo empleado para los montajes. Sin embargo, para poder llevar estas modificaciones en los tiempos de montaje a la realidad, es necesario unificar el tamaño de los pernos en las troqueladoras, para el caso de afilado de buriles es necesario tener un juego extra siempre afilado y para el patrón de discos de fresado, se tiene como referencia un disco nuevo y uno dañado, considerando que cuando los dientes pierdan su forma o se rompan, es oportuno el cambio de disco.

Los puestos tienen algunos principios de diseño, aplicados por sugerencia de los trabajadores quienes identificaron la necesidad, no obstante, aún existen debilidades en las que se trabajó durante el desarrollo de este proyecto, primero se tuvo en cuenta que existen varias máquinas del mismo tipo, es decir hay varias troqueladoras que trabajan procesos distintos, varias fresadoras, varios procesos de lavado y empaclado, que a su vez conservan grandes similitudes en cuanto al diseño de los puestos de trabajo, por tanto, se diseñó un puesto de trabajo por cada tipo de maquina involucrada en el procesamiento de los productos estrella.

Basados en los principios de economía de movimientos según Niebel & Fredivaldis (2009), se identificaron oportunidades de mejora en labores que contaban con movimientos de 4to y 5to orden, a través de la implementación de herramientas, rampas y la reubicación de elementos que entorpecen la labor y no pertenecen al área de trabajo, finalmente se logró el diseño de puestos de trabajo que minimizan los movimientos eficientes y eliminan algunos movimientos ineficientes, lo que repercutirá en caso de su implementación en mayor motivación, menor fatiga, menor número de incapacidades por lesiones musculares y también mayor productividad por parte de los operarios.

El costo asociado a las diferentes propuestas es 528 millones de pesos, teniendo en cuenta que incluye costos de restauraciones locativas, que son necesarias para la buena

realización de los diferentes procesos y además fueron incluidos en la propuesta por solicitud de la empresa, no obstante, la implementación de la propuesta tiene amplios beneficios como el aumento de la capacidad de producción hasta del 213% y la reducción del material en proceso hasta del 85%.

Por último, se recomienda implementar la propuesta y evaluar la posibilidad de cambiar de proveedores de materia prima, pues aparte de poseer un alto nivel de incumplimiento en las entregas, con retrasos entre los 5 y los 30 días, ocasionalmente la materia prima base para bracket y plato, no posee la calidad solicitada, lo que implica retrasos en el cronograma de producción, reclamos al proveedor que derivan en tiempos muertos de maquinaria y horas hombre, incluyendo el desgaste por parte de la persona encargada de las negociaciones, quejas y reclamos con los proveedores.

Es importante resaltar que el aseo de la planta no es el adecuado para una instalación industrial, pues puede ocasionar accidentes e incidentes. Por lo anterior es idóneo por parte de la compañía programar limpieza específica para limpiar derrames ocasionados por mantenimientos y eventos fortuitos, fuera del funcionamiento normal del área. Adicionalmente, diseñar un esquema de orden y aseo frecuente, para garantizar las condiciones mínimas de higiene y seguridad requeridas para la actividad económica.

REFERENCIAS

- Autoform. (2018). *Puesta a punto*. Retrieved from <https://www.autoform.com/es/glosario/puesta-a-punto/>
- Cartilla de inducción SGC Provemel Ltda. (2017)
- Cañon, Martínez, & Montaña, (2013). *Propuesta de mejora en la línea de producción de filtros de aire para vehículos pesados en la empresa Premium filters Ltda. ubicada en Bogotá*.
- Carbonell, (2013). Técnica Smed. Reducción del tiempo de preparación. *3C Tecnología*, 5, 20-29. Retrieved from <https://doaj.org/article/887897b046954cb9b015229d264efa5f>
- Chase, Jacobs, & Aquilano, (2009). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES producción y cadena de suministros* (12th ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Comesaña, (2010). *Ajuste, comprobación y puesta a punto de máquinas y equipos industriales* (1st ed.). Vigo: Ideas propias Editorial.
- Dorbessan (2006) . Herramientas de cambio. Retrieved from. <https://vdocuments.mx/las-5s-herramientas-de-cambio-jose-ricardo-dorbessan-1ra-ed-56a0c5f06cb4d.html>
- ESAN. (2017). Fundamentos financieros: El valor actual neto (VAN). Retrieved from <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- Garcia, A. (1997). *Productividad y reducción de costos para una pequeña y mediana industria* (1st ed.). México, D.F.: Trillas.
- Garcia, J. (2005). *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo* (2nd ed.). Monterrey: Mc Graw Hill.
- Gillet, & Sena, (2014). *La caja de herramientas - control de calidad* (1st ed.) Grupo Editorial Patria.
- Gomez. (2014). Principio de economía de movimientos. Retrieved from <https://sites.google.com/site/et111221057312211582/principio-de-economia-de-movimientos>
- GRUPO INGCO. (2011). Problemas de distribución de planta, tipos de distribución y métodos de trabajo. *Revista Virtual Pro*, (113), 8. Retrieved from <https://www.revistavirtualpro.com/revista/distribucion-de-planta/1>

- Gutiérrez, (2010). *Calidad total y productividad* (3rd ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Hernandez, Fernandez, & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill.
- ICONTEC. (2015a). *Iso 14001*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- ICONTEC. (2015b). *Iso 9001*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- ICONTEC. (2015c). *Ntc iso/ts 16949*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Jimenez, F., Espinosa, C., & Fonseca, L. (2007). *Ingeniería económica* (1st ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Marin, & Maldonado, (2015). Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/Gu%C3%ADa%20para%20la%20formulaci%C3%B3n,%20implementaci%C3%B3n,%20evaluaci%C3%B3n,%20seguimiento,%20control%20y%20actualizaci%C3%B3n%20de%20PGIRS.pdf>
- Mihok, Kadarova, Demečko, & Ružinský, (2015). The use of SMED in engineering manufacturing. *Applied Mechanics and Materials*, 816, 568-573. //dx.doi.org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.4028/www.scientific.net/AMM.816.568 Retrieved from <http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1903481872?accountid=41311>
- Minsalud (2015). *ABECÉ PAUSAS ACTIVAS*: Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/abec-pausas-activas.pdf>
- Mishra, & Kumar Sharma, (2014). A hybrid framework based on SIPOC and six sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(5), 522-546. 10.1108/IJQRM-06-2012-0089 Retrieved from <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>
- Muñoz, (2009). *Administración de operaciones. enfoque de administración de procesos de negocios* (1st ed.). México, D.F.: CENGAGE Learning.
- Niebel, & Freivalds. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (12th ed.). México: McGraw-Hill.

- Otero, & Vega, (2014). *Propuesta de mejora de métodos, movimientos y tiempos en la línea no. 1 de producción de chaquetas north face model AMVY, en la empresa formosa en el periodo de agosto a diciembre de 2013*
- Ponce. (2018). *Cápsulas didácticas de los principios de economía de movimientos*; Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14625/C%C3%A1psulas%20did%C3%A1cticas%20de%20los%20Principios%20de%20Econom%C3%ADa%20de%20Movimientos.pdf?sequence=1>
- Portafolio. (2014). En colombia, la producción es mucho menor a la demanda. Retrieved from <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/colombia-produccion-menor-demanda-59746>
- PV. (2011). Provemel ltda. Retrieved from <http://www.provemel.com/es/>
- PV. (2018). Ubicación satelital provemel ltda. Retrieved from <https://www.google.com.co/maps/place/Proveedora+Metalmecanica+LTDA/@4.6070362,-74.0948148,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x8f88d74ea16b0ee2!8m2!3d4.6070362!4d-74.0948148>
- Ritzman, & Krajewski, (2000). *Administración de operaciones: Estrategia y análisis* (5th ed.). México, D.F.: Pearson educación México.
- Salazar. (2016). Eficiencia global de los equipos (OEE). Retrieved from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/eficiencia-general-de-los-equipos-oe/>
- SPC Consulting Group. (2013). Diagrama de ishikawa. Retrieved from <https://spcgroup.com.mx/diagrama-de-ishikawa/>
- Touron. (2016). Definición del OEE. Retrieved from <https://www.sistemasoe.com/definicion-oe/>
- Universidade de Vigo. (2009). “GESTIÓN DE LA CALIDAD, LA SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE” (4º ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL) ; Retrieved from <http://gio.uvigo.es/assignaturas/gestioncalidad/GCal0405.DiagramaPareto.pdf>
- Veritrade. (2018). Proveedora metalmecanica ltda.Provemel ltda. Retrieved from <https://www.veritrade.com/es/colombia/importaciones-y-exportaciones-proveedora-metalmecanica-ltda-provemel-ltda/nit-860077649>