



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
OPCIÓN 1.-TESIS**

**“Implementación de un sistema *Kanban* en una línea de
producción en una empresa manufacturera en [REDACTED] [REDACTED] del
estado de Veracruz”**

PRESENTA:

Ing. Lucero Herrera Gasca

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Ortiz Flores

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

Noviembre 2021

Agradecimientos

A Dios, por nunca dejarme sola en la vida, por darme todo lo que ahora tengo y por siempre llevarme sobre alas de águila.

A mi mamá Carmen, por darme los mejores años de su vida, amarme y cuidarme siempre y darme todo lo que estuvo a su alcance para mi formación.

A mi madre, por amarme sin medida, por ser fuerte para las dos y ayudarme a obtener cada logro que he tenido en mi vida.

A mi esposo, por acompañarme en esta aventura más, por siempre apoyarme en todo lo que me propongo hacer y por hacerme tan feliz siempre.

A mi pequeño Abraham, por esperarme tanto tiempo en casa volver para jugar contigo, por acompañarme en esta aventura y por ser ese motor que me impulsa a levantarme cada día, te amo.

Al Dr. Fernando Ortiz, por siempre apoyarme en mi proyecto e impulsarme para terminar la tesis, de usted me llevó un gran aprendizaje.

Al Maestro Jorge Luis, por siempre brindarme su ayuda en la realización de mi proyecto y por creer siempre en mí.

Resumen

La industria manufacturera es la actividad secundaria encargada de transformar la materia prima en productos finales, listos para ser comercializados. En México, la industria de las manufacturas es uno de los pilares más importantes de la economía, al representar alrededor del 17 % del producto interno bruto(PIB). Tan solo en 2020, el sector manufacturero mexicano atrajo una inversión extranjera directa de casi 12.000 millones de dólares estadounidenses y empleó a más de nueve millones de trabajadores (Statista Research Department, 2021).

La empresa manufacturera para la que se elaboró el presente proyecto, forma parte de la industria manufacturera de México, la cual está comprometida con la calidad de sus productos y el servicio al cliente, buscando mantener sus procesos a la vanguardia. Tomando en cuenta que es una empresa que trabaja bajo los principios de *lean manufacturing*, los directivos han visto conveniente el desarrollo de un proyecto para el diseño e implementación de un sistema *Kanban* en una línea de producción con la finalidad de reducir el inventario entre procesos.

Para el desarrollo del proyecto se pusieron en práctica el *value stream mapping*, para el diagnóstico de la empresa y elección de la referencia clave; los principios de *lean manufacturing*, *just in time*, como bases para el sistema desarrollado y *Kanban* como la herramienta principal para el diseño e implementación del sistema *Kanban* en la línea de mayor volumen para la referencia clave.

Como producto se obtuvo un diseño del sistema *Kanban* que consta de la selección de referencia, desarrollo de propuestas, selección de indicadores a evaluar, desarrollo de actividades para un nuevo puesto: milk run y adaptación de reglas del sistema *Kanban*. Así como se realizó la implementación del sistema *Kanban* con los puntos del diseño.

Finalmente se realizó una validación del proyecto por medio de una prueba de hipótesis, donde fue posible visualizar que hubo una mejora significativa en el proceso de producción de la línea.

Abstract

The manufacturing industry is the secondary activity in charge of transforming the raw material into final products, ready to be marketed. In Mexico, the manufacturing industry is one of the most important pillars of the economy, representing around 17% of the gross domestic product (GDP). In 2020 alone, the Mexican manufacturing sector attracted foreign direct investment of almost US \$ 12 billion and employed more than 9 million workers (Statista Research Department, 2021).

The manufacturing company for which this project was developed is part of the Mexican manufacturing industry, which is committed to the quality of its products and customer service, seeking to keep its processes at the forefront. Taking into account that it is a company that works under the principles of lean manufacturing, managers have seen fit to develop a project for the design and implementation of a Kanban system in a production line in order to reduce inventory between processes.

For the development of the project, the mapping of the value chain was put into practice, for the diagnosis of the company and the choice of the reference key; the principles of lean manufacturing, just in time, as the basis for the developed system and Kanban as the main tool for the design and implementation of the Kanban system in the highest volume line for the key reference.

As a product, a design of the Kanban system was obtained, which consists of the selection of reference, development of proposals, evaluation indicators, development of activities for a new position: milk execution and adaptation of the Kanban system rules. As well as the implementation of the Kanban system with the design points.

Finally, a validation of the project was carried out by means of a hypothesis test, where it was possible to visualize that there was a significant improvement in the production process of the line.

Contenido

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
CONTENIDO	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	3
Objetivo General.....	3
Objetivos particulares	3
JUSTIFICACIÓN	3
HIPÓTESIS.....	4
CONTENIDO DE LA TESIS.....	4
CAPÍTULO 1 DESCRIPCIÓN DE MANUFACTURERA [REDACTED] ([REDACTED])	6
1.1 LA INDUSTRIA MANUFACTURERA	6
1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA [REDACTED] [REDACTED]	7
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA [REDACTED] [REDACTED]	8
1.3.1 Ubicación	9
1.3.2 Misión	9
1.3.3 Visión.....	10
1.3.4 Valores	11
1.3.5 Sistema de calidad.....	11
1.3.6 Mejora Continua	12
1.3.7 Distribución de planta	12
1.4 LÍNEA DE [REDACTED] [REDACTED]	14
1.4.1 Arribo de la materia prima	16
1.4.2 Prensado.....	16
1.4.3 Pulido	16
1.4.4 Off line hoja	17
1.4.5 Off line gancho	17
1.4.6 Off line stub	17

1.4.7 Crush and Broach.....	18
1.4.8 Tratamiento térmico.....	18
1.4.9 Abrillantado.....	19
1.4.10 Flat Grind.....	19
1.4.11 Bevel and Sharpen.....	20
1.4.12 Ensamble.....	20
1.4.13 Plastisol.....	20
1.4.14 Enmangado.....	20
1.4.15 Empaque.....	20
1.5 CONCLUSIÓN.....	21
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 GENERALIDADES DEL PENSAMIENTO ESBELTO.....	22
2.2 PRINCIPIOS LEAN MANUFACTURING.....	22
2.2.1 Definir el valor.....	24
2.2.2 Visualizar el proceso.....	26
2.2.3 Crear flujo.....	28
2.2.4 Sistema de jalado o “Pull”.....	28
2.2.5 Buscar excelencia o perfección.....	28
2.3 VALUE STREAM MAPPING (VSM).....	29
2.3.1 Antecedentes del VSM.....	30
2.3.2 Generalidades de VSM.....	31
2.3.3 Seleccionar la familia de productos a analizar.....	35
2.3.4 Proceso de elaboración del VSM, estado presente.....	38
2.3.5 Proceso de elaboración del VSM, estado futuro.....	39
2.4 JUST IN TIME (JIT).....	41
2.4.1 Conceptos Just in Time (JIT).....	41
2.4.2 Pasos para la implementación de JIT.....	42
2.5 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	43
2.5.1 Definición y clasificación de las técnicas para prueba de hipótesis.....	43
2.5.1 Metodología para la aplicación de una prueba de hipótesis.....	44
2.6 KANBAN.....	45
2.6.1 Sistema push o sistema pull.....	46
2.6.2 Funcionamiento del sistema Kanban de Toyota.....	47
2.6.3 Reglas del sistema Kanban.....	49
2.6.4 Tipos de Kanban.....	49
2.6.5 Metodología propuesta para Kanban.....	50

CAPÍTULO 3 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.....	52
3.1 METODOLOGÍA	52
3.2 DIAGNÓSTICO	52
3.2.1 Recorrido por toda la planta de producción	53
3.2.2 Entrevista con el personal	53
3.2.3 Reunión con el gerente de planta de la empresa [REDACTED]	56
3.2.4 Análisis del diagnóstico	57
3.3 CREACIÓN DEL MAPA DE LA CADENA DE VALOR DE ESTADO PRESENTE	57
3.3.1 Análisis de productos-volúmenes de la línea de [REDACTED]	58
3.3.2 Conclusiones del análisis de productos-volúmenes de la línea de producción	61
3.3.3 Desarrollo del mapeo de la cadena de valor actual de las referencias clave	61
3.3.3.1 Creación del equipo de trabajo para elaborar VSM	61
3.3.3.2 Realización de reunión y pláticas con el equipo de trabajo	62
3.3.3.3 Selección de los procesos a mapear en el VSM.....	62
3.3.3.4 Selección y cálculo de indicadores	66
3.3.3.5 Elaboración del mapa de la cadena de valor	68
3.3.3.6 Análisis del mapeo de la cadena de valor del estado presente de [REDACTED]	76
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA KANBAN PARA LA PRODUCCIÓN DE LA REFERENCIA [REDACTED]	78
3.4.1 Selección de la referencia para la cual implantar el sistema Kanban	78
3.4.2 Desarrollo de propuestas de mejora en [REDACTED]	78
3.4.2.1 Reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada.....	78
3.4.2.2 Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED]	80
3.4.3 Indicadores a evaluar antes de la implantación del sistema Kanban	84
3.4.4 Desarrollo de actividades para el puesto del milk run.....	84
3.4.4.1 Coordinación del abastecimiento de insumos.....	87
3.4.4.2 Coordinación del abastecimiento de forjas	91
3.4.5 Adaptación de reglas del sistema Kanban para la línea de [REDACTED]	93
3.5 IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA KANBAN.....	94
3.5.1 Implantación de propuestas de mejora en [REDACTED]	94
3.5.1.1 Reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada.....	94
3.5.1.2 Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED]	97
3.5.2 Implantación del desarrollo de actividades del puesto de milk run.....	100
3.5.2.1 Coordinación de abastecimiento de insumos	100
3.5.2.2 Coordinación de abastecimiento de forjas	103
3.5.3 Implantación de la adaptación de reglas del sistema Kanban para [REDACTED]	104
3.5.4 Implantación de procedimientos del sistema Kanban diseñado de cada área de trabajo.....	107
3.4.8 Medición de indicadores después de la implantación del sistema Kanban	114
3.4.6 Descripción de procedimientos del sistema Kanban diseñado de cada área de trabajo	115
3.4.6.1 Descripción del procedimiento para el área de empaque.....	115

3.4.6.2 Descripción del procedimiento para el área de ajuste	116
3.4.6.3 Descripción del procedimiento para el área de preensamble	116
3.4.6.4 Descripción del procedimiento para el área de bevel & sharpen	118
3.4.6.5 Descripción del procedimiento para el área de clip/pin	118
3.4.6.6 Descripción del procedimiento para el área de flat grind	120
3.4.6.7 Descripción del procedimiento para el área de abrillantado	121
3.4.6.8 Descripción del procedimiento para el área de tratamiento térmico	122
3.4.6.9 Descripción del procedimiento para el área de crush & broach	122
3.4.6.10 Descripción del procedimiento para el área de pre ensamble off line	123
3.4.6.11 Descripción del procedimiento para el área de pulido	124
3.4.6.12 Descripción del procedimiento para el área de prensa	124
3.6 COMPARACIÓN DE INDICADORES	126
3.7 APLICACIÓN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS	129
3.8 CONCLUSIÓN	133
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	134
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES	139
FUENTES DE INFORMACIÓN	142

Índice de figuras

Figura 1. 1 Ubicación macro de la ciudad de ██████████, Veracruz (Google Maps, 2021).	9
Figura 1. 2 Ubicación micro de ██████ (Google Maps, 2021).	10
Figura 1. 3 Distribución general de la planta productora ██████ (█████, 2020).	13
Figura 1. 4 Distribución de ██████████ (█████,2020).	14
Figura 2. 1 Enfoque tradicional Vs Enfoque Lean (Reza, 2017).	23
Figura 2.2 Principios Lean Manufacturing (Wilson, 2010).	23
Figura 2. 3 Actividades de valor y no valor agregado (Tejeda, 2011).	25
Figura 2. 4 Metodología para la realización de un VSM (Elaboración propia).	30
Figura 2. 5 Matriz de clasificación. Familia de productos (Cabrera Calva, 2011).	36
Figura 2. 6 Clasificación de las técnicas de prueba de hipótesis (Arrijoa Rodríguez, 2018).	43
Figura 2. 7 Circulación Kanban (Schonberger & Calvet Pérez, 1988).	48
Figura 3. 1 Producción real de la línea de ██████████: a) año 2017, b) año 2018, c) año 2019, d) año 2020. .	59
Figura 3. 2 Diagramas de Pareto de la producción total de ██████████: a) año 2017, b) año 2018, c) año 2019, d) año 2020 (Autoría propia).	60
Figura 3.3 Proceso de producción para la referencia ██████████ (Autoría propia).	64
Figura 3. 4 Proceso de producción para la referencia ██████████ (Autoría propia).	65
Figura 3. 5 Pasos del 1-3 para la elaboración del VSM: colocación de iconos del cliente, proveedor y producción, requerimiento diario e icono de envío de la referencia ██████████ (Autoría propia).	69
Figura 3. 6 Pasos del 1-3 para la elaboración del VSM: colocación de iconos del cliente, proveedor y producción, requerimiento diario e icono de envío de la referencia ██████████ (Autoría propia).	69
Figura 3. 7 Pasos 4 y 5 para la elaboración del VSM: colocación de cajas, cuadros de datos e indicadores de la referencia ██████████ (prensa a tratamiento térmico) (Autoría propia).	70
Figura 3. 8 Pasos 4 y 5 para la elaboración del VSM: colocación de cajas, cuadros de datos e indicadores de la referencia ██████████ (prensa a tratamiento térmico) (Autoría propia).	70
Figura 3. 9 Pasos del 6-8 para la elaboración del VSM: colocación de flechas, métodos de comunicación, frecuencia, inventarios y flechas de flujo del proceso de la referencia ██████████ (prensa-flat grind)(Autoría propia)	71
Figura 3.10 Pasos del 6-8 para la elaboración del VSM: colocación de flechas, métodos de comunicación, frecuencia, inventarios y flechas de flujo del proceso de la referencia ██████████ (prensa-debur) (Autoría propia). 71	
Figura 3. 11 Pasos del 9-12 para la elaboración del VSM: colocación de líneas del tiempo con los TC, lead time, sumatoria de los TC y sumatoria de LT de la referencia ██████████ (Autoría propia).	72

Figura 3. 12 Pasos del 9-12 para la elaboración del VSM: colocación de líneas del tiempo con los TC, lead time, sumatoria de los TC y sumatoria de LT de la referencia [REDACTED].	72
Figura 3. 13 Paso 13 para la elaboración del VSM: colocación de datos de demanda, turnos, días disponibles y horas por día de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	74
Figura 3. 14 Paso 13 para la elaboración del VSM: colocación de datos de demanda, turnos, días disponibles y horas por día de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	74
Figura 3. 15 A Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	75
Figura 3. 16 B Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	75
Figura 3. 17 A Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	75
Figura 3. 18 B Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	76
Figura 3. 19 Ubicación propuesta de los supermercados para [REDACTED] (Autoría propia).	82
Figura 3. 20 Diseño propuesto para el supermercado de forjas del área de prensa (Autoría propia).	82
Figura 3. 21 Diseño propuesto para el supermercado de forjas del área de flat grind (Autoría propia).	83
Figura 3. 22 Carrito para insumos asignado por la empresa.	89
Figura 3. 23 Carrito para insumos modificado.	89
Figura 3. 24 Ruta para el abastecimiento de insumos.	90
Figura 3. 25 Ruta 1 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de preensamble.	92
Figura 3. 26 Ruta 2 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de clip/pin.	92
Figura 3. 27 Ruta 3 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de prensa.	93
Figura 3. 28 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote a.	95
Figura 3. 29 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote b.	95
Figura 3. 30 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote c.	95
Figura 3. 31 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote d.	95
Figura 3. 32 Primer embarque de forjas con lotes pequeños a.	96
Figura 3. 33 Primer embarque de forjas con lotes pequeños b.	97
Figura 3. 34 Primer embarque de forjas con lotes pequeños c.	97
Figura 3. 35 Validación del primer embarque de forjas en lotes pequeños a.	97
Figura 3. 36 Validación del primer embarque de forjas en lotes pequeños b.	97
Figura 3. 37 Modificaciones al supermercado de forjas para el área de prensa.	98
Figura 3. 38 Supermercado de forjas para prensa con modificaciones (evidencia 1).	99
Figura 3. 39 Supermercado de forjas para prensa con modificaciones (evidencia 2).	99
Figura 3. 40 Supermercado de forjas para el área de flat grind.	99
Figura 3. 41 Evidencia de uso del supermercado de forjas para el área de flat grind (evidencia 1).	100
Figura 3. 42 Evidencia de uso del supermercado de forjas para el área de flat grind (evidencia 2).	100
Figura 3. 43 Acciones en la línea: base para ruedas abrasivas.	101
Figura 3. 44 Acciones en la línea: gancho para bandas.	101
Figura 3. 45 Acciones en la línea: bandas en los ganchos.	101
Figura 3. 46 Acciones en la línea: contenedor para pines.	101

Figura 3. 47 Acciones en la línea: interior de contenedor para brocas.	101
Figura 3. 48 Acciones en la línea: exterior de contenedor para brocas.	101
Figura 3. 49 Listado de insumos de la referencia [REDACTED] impreso.	102
Figura 3. 50. Llenado de formato para entrega de insumos por el milk run.	102
Figura 3. 51 Carrito de insumos surtido por primera vez con la referencia [REDACTED].	103
Figura 3. 52 Corrida de piloto de la ruta de insumos con el milk run a.	103
Figura 3. 53 Corrida de piloto de la ruta de insumos con el milk run b.	103
Figura 3. 54 Capacitación de generalidades a operadores de [REDACTED].	104
Figura 3. 55 Actividad de capacitación del sistema Kanban a operadores de [REDACTED].	104
Figura 3. 56 Capacitación específica por área de producción (evidencia 1).	105
Figura 3. 57 Capacitación específica por área de producción (evidencia 2).	105
Figura 3. 58 Delimitación del área para producto terminado.	105
Figura 3. 59 Delimitación del área para material de entrada para prensa.	105
Figura 3. 60 Delimitación del área para material de entrada para clip/pin.	105
Figura 3. 61 Delimitación del área para material de salida de bevel & sharpen.	105
Figura 3. 62 Mesa con báscula para armado de lotes.	107
Figura 3. 63 Mesa para báscula.	107
Figura 3. 64 Pesado de forjas.	107
Figura 3. 65 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de abril.	113
Figura 3. 66 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de mayo.	113
Figura 3. 67 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de junio.	114
Figura 3. 68 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de empaque.	117
Figura 3. 69 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de ajuste.	117
Figura 3. 70 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de preensamble.	118
Figura 3. 71 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de bevel & sharpen.	119
Figura 3. 72 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de clip/pin.	120
Figura 3. 73 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de flat grind.	121
Figura 3. 74 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de off line y crush & broach.	123
Figura 3. 75 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de pulido.	125

Figura 3. 76 Ubicaciones de áreas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de prensa..... 125

Figura 3. 77 Región de rechazo para la hipótesis de acuerdo con los valores. 133

Índice de tablas

Tabla 1. 1 Procesos realizados a cada referencia de [REDACTED] (Autoría propia).....	15
Tabla 2. 1 Tipos de desperdicios, posibles causas y herramientas para eliminarlas (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).....	26
Tabla 2. 2 Factores a considerar para aplicar VSM. (Lee & Snyder, 2007).	31
Tabla 2. 3 Descripción de los iconos del proceso del VSM (Lee & Snyder, 2007).	32
Tabla 2. 4 Descripción de los iconos de materiales del VSM (Lee & Snyder, 2007).....	33
Tabla 2. 5 Descripción de los iconos de información de VSM (Lee & Snyder, 2007).....	34
Tabla 2. 6 Descripción de los iconos diversos del VSM (Lee & Snyder, 2007).	34
Tabla 2. 7 Criterios para establecer macro familias (Cabrera Calva, 2011)	37
Tabla 3. 1 Vista del Summary (Autoría [REDACTED]).....	58
Tabla 3. 2 Unidades producidas del año 2017 al 2020 (Autoría propia).	59
Tabla 3. 3 Indicadores de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	67
Tabla 3. 4 Indicadores de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).	68
Tabla 3. 5 Datos de la referencia [REDACTED]: Número de parte, descripción, lote actual, proveedor y país de procedencia (Autoría propia).....	79
Tabla 3. 6 Pesos de forjas de la referencia [REDACTED] y contenedor.(Autoría propia).	80
Tabla 3. 7 Análisis de lotes actuales (Autoría propia).	80
Tabla 3. 8 Análisis de lotes propuestos (Autoría propia).	81
Tabla 3. 9 Indicadores a usar de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).....	84
Tabla 3. 10 Descripción de actividades del puesto milk run (Autoría propia).	86
Tabla 3. 11 Listado de insumos (insumos de pulido a off line) (Autoría propia).	87
Tabla 3. 12 Formato de registro y control de insumos (insumos del área de prensa) (Autoría propia).....	88
Tabla 3. 14 Formato de evaluación del sistema Kanban	109
Tabla 3. 15 Área de datos generales del formato.....	110
Tabla 3. 16 Lista parcial de criterios por evaluar.	111
Tabla 3. 17 Escala de evaluación.....	111
Tabla 3. 18 Área de observaciones y acciones propuestas.	111
Tabla 3. 19 Área para puntaje.....	111
Tabla 3. 20 Formato de evaluación del sistema Kanban (evidencia 1).....	112
Tabla 3. 21 Formato de evaluación del sistema Kanban (evidencia 2).....	112
Tabla 3. 22 Indicadores después de la implantación del sistema Kanban de la referencia [REDACTED]	115
Tabla 3. 13 Peso del lote propuesto.	122

Tabla 3. 23 Comparación del indicador de inventario en proceso de la referencia [REDACTED]	126
Tabla 3. 24 Comparación del indicador tiempo de ciclo de la referencia [REDACTED]	127
Tabla 3. 25 Comparación del indicador de tiempo que no agrega valor al producto de la referencia [REDACTED] ..	127
Tabla 3. 26 Datos para la aplicación de la prueba de hipótesis.	130

Introducción

La industria manufacturera es uno de los principales pilares de la industria mexicana, por lo que para ser una empresa competitiva en un mercado tan globalizado es necesario un gran esfuerzo por parte de los colaboradores y tener metas a corto, mediano y largo plazo, con la finalidad de brindar un buen servicio a sus clientes.

Actualmente la calidad de sus productos y la satisfacción del cliente son prioridad para la empresa manufacturera en la que se realizó el proyecto, la cual está ubicada en [REDACTED] Veracruz, en la que para ofrecer el mejor servicio a sus clientes y ser competitivos del mercado que actualmente forma parte, surgió la necesidad de realizar proyectos de mejora en el área de producción. En la actualidad la empresa maneja sus procesos tomando como base los principios de *lean manufacturing*, por lo que para seguir mantenerse a la vanguardia los directivos vieron la necesidad de desarrollar un proyecto Kanban de manera piloto en la empresa, que contemple el diseño e implementación del mismo.

Con la metodología propuesta fue posible elaborar un diagnóstico, donde se detectaron áreas de oportunidad por medio de un análisis de productos – volúmenes, reuniones y entrevistas con el personal, con lo cual, se determinó que el presente proyecto se enfocaría en el diseño e implementación de un sistema *Kanban* con el objetivo de reducir el inventario en proceso.

En el desarrollo de la metodología propuesta fue posible la aplicación de herramientas y principios de filosofías para dar solución al proyecto requerido por la empresa, dando como resultado el diseño de un sistema *Kanban* y su implementación en una línea de producción y una validación por medio de una prueba de estadística.

Planteamiento del Problema

El presente proyecto se realizó en la empresa Manufacturera [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] ([REDACTED]), empresa del giro manufacturero dedicada a la fabricación de herramientas de jardinería, agricultura y poda. [REDACTED] [REDACTED] es una compañía de clase mundial que exporta sus productos a Estados Unidos para los estados de Kentucky y California.

[REDACTED] [REDACTED], actualmente, es fabricante líder en el desarrollo de herramientas de alta calidad. En México se encuentra ubicada en el municipio de [REDACTED], Veracruz. La empresa cuenta con cuatro líneas de producción especializadas, cada línea está orientada a la fabricación de herramientas de mano; estas líneas de producción se encuentran clasificadas con relación al tamaño de la herramienta.

[REDACTED] [REDACTED] es una empresa que se preocupa de mantener la mejora continua en sus productos y procesos para satisfacer los requerimientos y expectativas de sus clientes al menor costo, por lo que siempre ha considerado la calidad de sus productos, la satisfacción de sus clientes, la seguridad de sus colaboradores y el respeto del medio ambiente, como las bases de su rendimiento industrial.

Para mantener sus procesos a la vanguardia, la empresa cuenta con un departamento especializado en la mejora continua (Coordinación *Lean*), el cual se encarga de desarrollar una serie de proyectos, enfocados a la mejora continua de sus procesos basados en la filosofía *Lean*.

Actualmente, personal de la empresa ha determinado que, para seguir mejorando sus procesos, el siguiente paso es la implementación de un sistema *Kanban* en la línea de producción con mayor volumen: [REDACTED], dedicada a la manufactura de tijeras de tamaño pequeño. Esta línea tiene, entre sus principales funciones, el corte de cítricos.

Objetivos

Para el cumplimiento del proyecto fue planteado el objetivo general y objetivos particulares que se describen a continuación.

Objetivo General

Para dar solución a la necesidad de la empresa Manufacturera [REDACTED] [REDACTED], se ha planteado el siguiente objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema *Kanban* para mejorar el proceso de una línea de producción en una empresa manufacturera ubicada en [REDACTED] Veracruz.

Objetivos particulares

Para cumplir con el objetivo general se han definido los siguientes objetivos particulares:

- Minimizar el producto en proceso.
- Mejorar el flujo de información dentro de la línea de producción.
- Obtener mayor control sobre los inventarios.
- Evitar sobreproducción.
- Hacer visible el control sobre flujo de material.

Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de la empresa por mejorar [REDACTED] por medio de la implementación de un sistema *Kanban*. Al satisfacer esta necesidad, la empresa mantendrá su nivel competitivo global, lo que conllevaría a su crecimiento, a la generación de empleos, la mejora continua en sus condiciones de trabajo, mejora en sus salarios y la realización de sus actividades.

Se espera que el desarrollo de este trabajo de tesis sirva como herramienta para otros proyectos orientados a la mejora continua de los procesos basados en la filosofía *Lean* y en técnicas y herramientas de la ingeniería industrial.

Finalmente, el desarrollo del trabajo permitirá al tesista aplicar los conocimientos adquiridos durante su desarrollo académico en el Instituto Tecnológico de Orizaba, mediante la aplicación de técnicas de ingeniería industrial para la solución de problemas reales en el ámbito industrial.

Hipótesis

Se espera obtener resultados favorables para la empresa al término del presente proyecto de tesis y para validarlos, se ha planteado la siguiente hipótesis de trabajo:

- El inventario en proceso será menor al inventario en proceso actual con el diseño e implementación del sistema *Kanban* en [REDACTED] para la Manufacturera [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

Contenido de la tesis

El contenido del presente documento se encuentra dividido tres capítulos; éstos se describen de manera breve a continuación:

El capítulo uno describe las generalidades de la empresa en donde se desarrolló el trabajo, presentando su fundación y antecedentes, sus elementos estratégicos, sus generalidades, su logística de producción y la distribución física de sus procesos de fabricación.

El capítulo dos describe las generalidades de las técnicas utilizadas en el proyecto para proporcionar un marco teórico que sirva de referencia a los lectores de cómo se realizó la implementación de cada una de ellas. El resultado de la correcta aplicación de las herramientas seleccionadas es obtener mejores resultados.

El capítulo tres presenta la aplicación y desarrollo de la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, desde tempranas etapas de diagnóstico y determinación de las áreas de oportunidad hasta las etapas de validación de los resultados y la determinación de las actividades de seguimiento para el proyecto.

Finalmente se presentan las conclusiones del proyecto, las recomendaciones, las fuentes de información y los anexos utilizados en el desarrollo del presente proyecto.

Capítulo 1

Descripción de Manufacturera [REDACTED] ([REDACTED])

Para dar pie a un proyecto es necesario considerar aspectos, factores, variables y limitaciones que estén involucrados en el proceso a mejorar. Conocer los aspectos más importantes para el proceso es indispensable para el desarrollo e implementación de las mejoras planteadas. Por ello, este capítulo muestra un panorama general de la empresa Manufacturera [REDACTED] ([REDACTED]), la historia de la empresa, antecedentes, misión, visión y valores, estructura organizacional, infraestructura y el proceso productivo.

1.1 La industria manufacturera

Se tienen distintas definiciones sobre la industria manufacturera, pero una de las definiciones más claras está dada por el INEGI:

“El sector manufacturero comprende unidades económicas, dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos; al ensamble en serie de partes y componentes fabricados; a la reconstrucción en serie de maquinaria y equipo industrial, comercial, de oficina y otros, y al acabado de productos manufacturados mediante el teñido, tratamiento calorífico, enchapado y procesos similares. Asimismo, se incluye aquí la mezcla de productos para obtener otros diferentes, como aceites, lubricantes, resinas plásticas y fertilizantes”.

La manufactura es importante por diversos motivos que impactan directamente a la sociedad y a la economía mundial; algunos motivos son los siguientes (Ingeniería, 2017):

1. Ha sido parte esencial para el desarrollo de la riqueza nacional, ya que al crear un sector manufacturero de alta calidad las naciones han crecido de manera exponencial, lo que lleva a concluir que la manufactura es y ha sido pieza fundamental para la prosperidad de los países.

2. Es el cimiento para formar naciones sólidas y competitivas a nivel mundial, esto se demuestra a través de la historia, donde los llamados “Países Poderosos” son aquellos que controlan la mayor parte de la producción global, y que cuentan con la infraestructura y tecnología manufacturera más avanzada; se puede definir que el saber cómo se construyen las máquinas es sinónimo de producción de bienes.
3. Se establece que las mejoras tecnológicas a la maquinaria, junto con lo descrito anteriormente, son las piezas principales para el crecimiento económico.
4. Los servicios dependen de los bienes manufacturados.
5. Se concluye que la mayoría de los trabajos, de manera directa o indirecta dependen de las fábricas, empresas, pymes o cualquier otro giro industrial manufacturero, en otras palabras, la manufactura crea empleos; empleos que pueden generar empleos adicionales y, por lo tanto, facturar millones de pesos anuales.

Es muy importante que se implemente una verdadera política industrial a favor de las plantas manufactureras nacionales; ya que, si se trabaja en este sector, México será un país más fuerte, como ya lo son las economías asiáticas en este momento. Si no se toman acciones desde las empresas para revertir los números actuales, habrá una disminución en la economía nacional.

1.2 Antecedentes de la empresa [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED] fue fundada en el año de 1920. Inició fabricando tijeras podadoras de árboles de naranja, en una antigua casa empacadora localizada en [REDACTED]. La forja era obtenida en Los Ángeles California; ya que el equipo industrial no incluía los martillos de forja.

A principio de 1930, la compañía se trasladó a una fábrica más amplia en la calle [REDACTED] [REDACTED] de [REDACTED], California. La línea de productos fue expandida para incluir tijeras podadoras de árboles de limón, tijeras podadoras para uvas, podadoras de asta, y un poco más tarde, corta setos y tijeras para el césped.

La historia de [REDACTED] [REDACTED] está ligada al primer producto que se fabricó, llamado “[REDACTED] naranja 9B”. Dicha herramienta era usada en la industria de cítricos de Estados Unidos cerca de la ciudad de [REDACTED]; en donde se daban diversos árboles de naranja. A partir de esta herramienta

se empezó a comprobar que el uso de tijeras, específicamente diseñadas para el sector de la agricultura y jardinería, era totalmente benéfico, por lo que poco a poco se empezó a mejorar esta primera tijera y posteriormente se fueron desarrollando diferentes modelos de tijeras de corte y poda.

En 2005, la Corporación [REDACTED] decide trasladar operaciones de [REDACTED] California a México y bajo el nombre de [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] ([REDACTED]). La empresa inició sus operaciones en la ciudad de [REDACTED], Veracruz, con el giro de una maquiladora de materia prima que envía a su único cliente: [REDACTED] Clíper EUA; para fabricar tijeras de una y dos manos.

1.3 Descripción de la empresa [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] dispone de cuatro líneas de producción especializadas, cada línea de producción está orientada a la fabricación de herramientas de mano para jardinería, agricultura y poda de tipo profesional, las cuales son exportadas a Estados Unidos para los estados de Kentucky y California. Las líneas de producción con las que [REDACTED] cuenta se encuentran clasificadas con relación al tamaño de la herramienta y éstas varían desde las que pueden ser manipuladas con una sola mano, hasta las que requieren una mayor aplicación de fuerza y, por ende, de la utilización con ambas manos.

Las cuatro líneas de producción tienen las siguientes características:

- [REDACTED] En esta línea se producen herramientas que tienen la capacidad de cortar ramas, rosas, enredaderas y arbustos de hasta 1” de diámetro. Sus principales referencias son la [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] y [REDACTED]. La [REDACTED] es utilizada para el corte de naranja y manzanas.
- [REDACTED]. Esta línea produce tijera de tamaño pequeño, la cual, entre sus principales funciones se encuentra el corte de cítricos como limón.
- [REDACTED] Esta línea produce tijeras de tamaño medio, la cual, entre sus principales funciones se encuentra el cortado de mango. Algunas de sus referencias son la [REDACTED], [REDACTED].

- [REDACTED] Las tijeras que produce esta línea tienen la capacidad de cortar árboles frutales con diámetro de hasta 2¼ y que requieren un alto rendimiento de corte. Entre sus principales referencias se encuentra la [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] y [REDACTED].

1.3.1 Ubicación

[REDACTED] es hoy el fabricante líder en el desarrollo de herramientas de alta calidad para todas las necesidades de jardinería, paisajismo, agricultura y poda.

En México, la Empresa [REDACTED] se encuentra en [REDACTED], Veracruz para tener un mejor panorama de la ubicación se muestra el municipio en la FIGURA, la dirección específica en donde se ubica en la calle [REDACTED] [REDACTED], esta ubicación se ilustra en la Figura 1.1.

1.3.2 Misión

El corporativo, del cual forma parte la empresa [REDACTED], tiene la misión corporativa de convertirse en una compañía global que manufacture 300 millones de dólares en 2021, orientada al crecimiento y que provea soluciones y herramientas de mano innovadoras a nivel global a los usuarios de la construcción, agrícola, paisajismo y jardinería que buscan rendimiento. Con lo anterior, la empresa [REDACTED] define la siguiente misión:

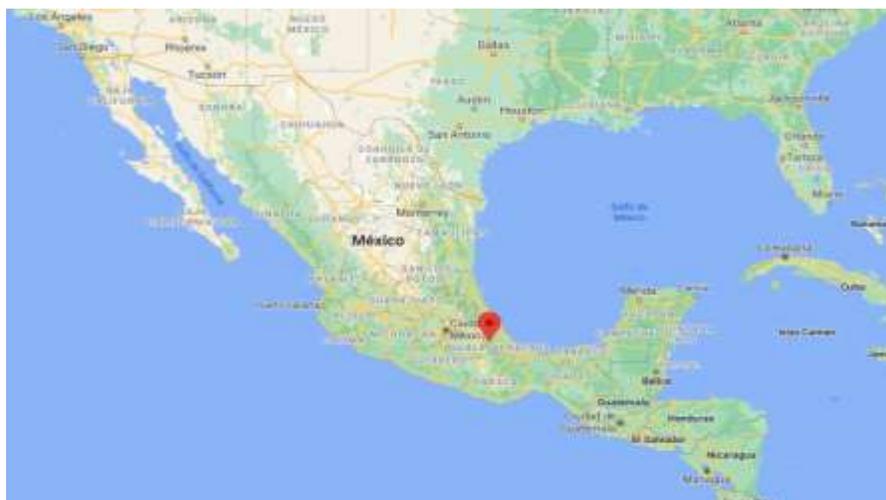


Figura 1. 1 Ubicación macro de la ciudad de [REDACTED] Veracruz (Google Maps, 2021).

Figura 1. 2 Ubicación micro de ■■■■ (Google Maps, 2021).

“Generar un ambiente consistente de bienestar físico, intelectual y financiero a partir de la mejora continua que permita desarrollar e impulsar las capacidades y el desempeño tanto individual como colectivo de nuestros clientes, empleados y dueños, con lo cual sea posible tener a nuestros colaboradores debidamente facultados y capacitados en todos los niveles organizacionales”

1.3.3 Visión

■■■■ es una empresa líder de clase mundial, que produce herramientas manuales de calidad para el mercado profesional y de consumo popular, incluyendo herramientas de corte y poda. Por tal motivo, fundamenta su visión en lo siguiente:

“Convertirnos en una compañía global orientada al crecimiento que logre facturar 300 millones de dólares en 2020 y que provea a nivel global de soluciones y herramientas de mano innovadoras para los usuarios de la construcción, agrícola, paisajismo y jardinería que buscan un rendimiento óptimo”

1.3.4 Valores

■ tiene como finalidad la fomentación de los siguientes valores para la satisfacción de sus clientes, trabajadores y proveedores:

- **Integridad.** *“Ser respetuosos, honestos y coherentes en la forma de pensar, actuar y relacionarnos dentro y fuera de la organización”.*
- **Compromiso.** *“Liderar con pasión y responsabilidad, esforzándonos al máximo para alcanzar los objetivos”.*
- **Dinamismo.** *“Ser ágiles y retornos a nosotros mismos y a los demás para mejorar cada día, aceptando nuevas ideas, conceptos y oportunidades”.*
- **Orientación al cliente.** *“Responder a las necesidades de nuestros clientes internos y externos, involucrándolos en los procesos e innovación y generación de valor”.*
- **Trabajo en equipo.** *“Crear, trabajar y aprender en equipos apasionados demostrando la diferencia entre cooperación y colaboración”.*

1.3.5 Sistema de calidad

■ tiene siempre el objetivo de mejorar continuamente sus procesos, para satisfacer los requerimientos y expectativas de sus clientes al menor costo, promoviendo la adecuada gestión del recurso humano, la calidad, la innovación, la seguridad y el respeto al medio ambiente. Para cumplir con los objetivos de calidad y lograr la satisfacción del cliente, ■ se ha propuesto desarrollar los siguientes puntos:

1. Objetivos de Calidad:
 - Mejora continua operacional.
 - Reducción de tiempos de operación.
 - Reducción de porcentaje de desechos (*scrap*) de la producción.
 - Mejorar el desempeño en seguridad.
 - Mejorar la productividad.
2. Satisfacción del cliente, lográndolo a través de los siguientes puntos:
 - Órdenes enviadas a tiempo.

- Reducir los defectos enviados al cliente.
- Reducir las reclamaciones de los clientes.
- Reducir los errores en envíos.

1.3.6 Mejora Continua

La mejora continua en [REDACTED] pretende mejorar los productos y procesos, mediante una actitud general, con la cual se asegure un método eficaz para lograr la calidad total y la excelencia a partir del aseguramiento de errores y detección de alternativas de mejora.

Actualmente, en [REDACTED] existe un sistema de mejora continua llamado “[REDACTED]” en el cual todos los empleados son participes, teniendo en cuenta las necesidades de la eficiencia en el trabajo para ofrecer la plena satisfacción de los clientes, y obtener un producto de máxima calidad al menor costo; dentro de este sistema se utilizan diversas herramientas administrativas; algunas de ellas son las siguientes:

- Las 5’S.
- Justo a Tiempo (*JIT*).
- Cambio de utillaje de un equipo en menos de 10 minutos (*SMED*).
- Manufactura de Respuesta Rápida (*QRM*).
- Mantenimiento Preventivo Total.

1.3.7 Distribución de planta

En la distribución general de la planta de producción (Figura 1. 3), se observa cómo se encuentra distribuida la planta físicamente, a primera vista se puede observar el área operativa y los almacenes. El área operativa se compone de 4 líneas de producción que se encuentran distribuidas de la siguiente manera, empezado del lado derecho del *layout*:

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED].

La línea en la que se trabajará, es ██████████, la cual se muestra en la Figura 1. 4, esta línea se divide en dos partes:

- La primera parte (Figura 1. 4) está formada por prensa, pulido, *off line* y *crush & broach*.
- La segunda parte (Figura 1. 4) de la línea está formada por *flat grind*, *clip/pin*, *bevel & sharpen*, preensamble, ajuste y empaque.



Figura 1. 3 Distribución general de la planta productora ██████████ (████████, 2020).

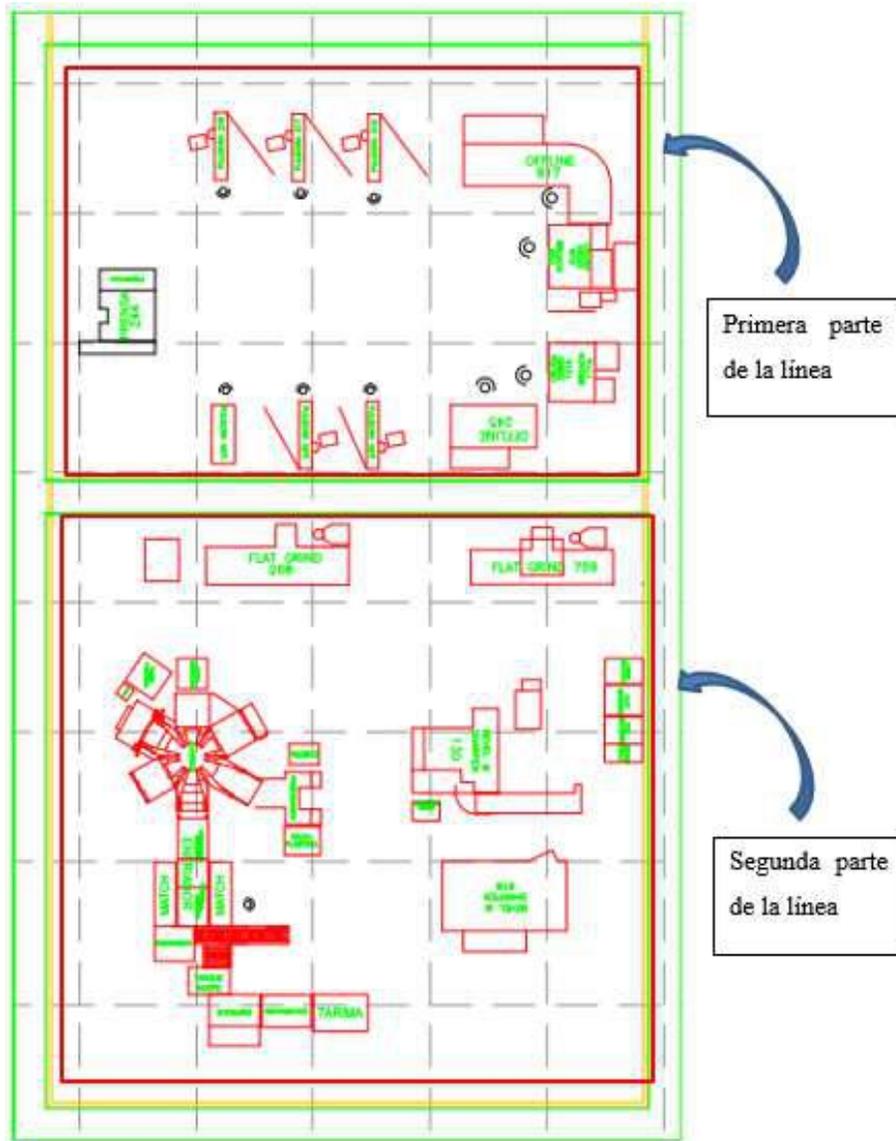


Figura 1. 4 Distribución de [REDACTED] ([REDACTED], 2020).

1.4 Línea de [REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED] actualmente cuenta con 3 líneas de producción, una de ellas es la línea *By Pass Brumer* ([REDACTED]), la cual produce las siguientes referencias (tijeras):

- [REDACTED].
- [REDACTED].
- [REDACTED].
- [REDACTED].

Estas referencias pertenecen al grupo de herramientas de una sola mano. Para la producción de estas tijeras es necesario que la materia prima pase por distintos procesos de transformación, para que se obtenga un producto de alta calidad acorde con las necesidades del cliente. Los procesos que sufre la materia prima para su transformación, en producto final, se muestran en la Tabla 1. 1. En esta Tabla se pueden observar que procesos se realizan para cada referencia, dependiendo el tipo de forja: gancho, hoja, *stub*; para finalmente llegar a ser un producto terminado.

Tabla 1. 1 Procesos realizados a cada referencia de [REDACTED] (Autoría propia).

Procesos	Referencia									
	[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]			[REDACTED]		
	Gancho (Hook)	Hoja (Blade)	Gancho (Hook)	Hoja (Blade)	Gancho (Hook)	Navaja	Stub	Gancho (Hook)	Navaja	Stub
Arribo de materia prima	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Prensado	X	X	X	X	X	X		X	X	
Pulido	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Off line</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Crush and Broanch</i>	X		X		X			X		
Tratamiento térmico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abrillantado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Flat grind</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Clip/Pin</i>	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Bevel and Sharpen</i>		X		X						
Plastisol	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ensamble	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enmangado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Empaque	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

1.4.1 Arribo de la materia prima

El pedido de materia prima es realizado por el departamento de logística por medios electrónicos y firmas a través de un sistema control de inventarios, que supervisa la necesidad diaria de las líneas de producción, así como sus niveles de inventario. Los proveedores, con los cuales cuenta la empresa, tanto nacionales como extranjeros (Taiwán, Vietnam e India), envían la materia prima (principalmente material forjado) para el ensamble de las tijeras. Se realiza la solicitud del pedido con seis meses de anticipación ya que su traslado es por medio marítimo y al llegar al continente, su traslado es terrestre; al llegar a [REDACTED] la materia prima se almacena en *racks* dependiendo la línea de producción a los cuales estén destinados abastecer.

1.4.2 Prensado

El proceso de la producción de las referencias [REDACTED] inicia con el proceso de prensado de las forjas, tanto de hoja como de gancho. Este proceso es necesario ya que durante su trayecto a [REDACTED] tienden a deformarse debido al movimiento y el peso generado entre ellas al ser transportadas vía marítima desde Asia. Este proceso se lleva a cabo de manera individual y ayuda a que la estructura molecular del metal se compacte y esto contribuye a un mejor tratamiento térmico. Al iniciar el proceso de prensado, el operador prensa una forja de prueba para corroborar que el troquel se ha colocado de una forma correcta. Este proceso se valida colocando la forja en el troquel inferior y accionando la prensa para que el troquel superior caiga sobre la forja y ésta adquiera su forma correcta. La prensa sube dejando libre la forja permitiendo al operador revisar la forja para comprobar el prensado y continuar.

1.4.3 Pulido

Una vez que las forjas (hoja, gancho y *stub*) han pasado por el proceso de prensado se transportan al área de pulido; en lotes de 1800 piezas. En el área de pulido primero se trabajan los ganchos y posteriormente las hojas, esto puede variar en el orden. En el área de pulido las forjas requieren de tres procesos: pulido de laterales, joroba y canto; por lo que se encuentran tres operadores en el área. El proceso inicia con la colocación de una banda abrasiva en las poleas de la pulidora, por medio de operadores de pulido (pulidores), los cuales deben usar equipo de protección personal (EPP) y verificar que la pulidora se encuentre desenergizada. Una vez comprobada la colocación de la banda se cierra la carcasa y se asegura para que no se vaya

a abrir durante el proceso. Para la preparación del material, la materia prima es llevada al área de pulido desde el proceso anterior y se coloca a un lado del pulidor de laterales para que el operador tenga fácil acceso a las forjas y pueda pulir las forjas, seguido de esto coloca la forja procesada en un canal, que tiene cierto grado de inclinación cayendo a una charola para que el siguiente pulidor pueda pulir la joroba de la forja y el siguiente pulidor pueda pulir el canto de la forja.

1.4.4 Off line hoja

El proceso de *off line* cuenta con cuatro estaciones, las cuales se utilizan para el desbastado, barrenado y avellanado, barrenado lateral y el proceso de formación de cuerda interior. El proceso offline tiene dos [REDACTED]

- El primero [REDACTED] se realiza de la siguiente forma:
 - Se coloca la forja en el *jig*
 - Se acciona el taladro (y una mordaza que sujeta la forja al *jig*) para que se realice un barrenado vertical en la forja.
 - Se realiza un barrenado horizontal en la forja.
 - Se desbasta un punto de la forja.
- El segundo [REDACTED] se realiza, en la misma forja, de la siguiente manera:
 - La forja se coloca en el *jig*.
 - Se realiza el avellanado en la parte superior del barreno.
 - A la par del avellanado, un taladro horizontal realiza un barreno para el clip y pin.

1.4.5 Off line gancho

Para la forja gancho sólo se ocupa una de las cuatro estaciones del proceso *off line*. En ella se realiza el barrenado superior de la pieza. Una vez concluido este proceso, el operador toma el gancho y la pasa al proceso siguiente: *Crush and Broach*.

1.4.6 Off line stub

Para el *stub* se utilizan dos estaciones de trabajo del proceso *off line*; el proceso que se sigue es el siguiente:

- El operador coloca la forja en el *jig*.
- Posteriormente acciona la máquina.
- Automáticamente se acciona una mordaza que sujeta la forja contra el *jig*.
- Uno de los taladros realiza el barrenado vertical.
- Mientras que otro taladro se acciona horizontalmente para desbastar un punto de la forja.

1.4.7 Crush and Broach

Para el proceso *Crush and Broach*, que es aplicado únicamente al gancho de la tijera, se utiliza una piedra abrasiva y una brocha. Este proceso se divide en dos partes:

- En el primer proceso el operador toma el gancho que su compañero del proceso *off line* le ha dejado a un costado de su máquina. Lo coloca en la base de la primera piedra abrasiva para que ésta esmerile la primera superficie del gancho.
- En el segundo proceso la pieza pasa al brochado, donde una barrilla cambia la figura circular del barreno, que se le había hecho en la operación de *off line*, a una figura ovalada, esto para que el tornillo que sujeta ambas piezas de la tijera, tenga el torque correcto al realizar el movimiento de corte.

1.4.8 Tratamiento térmico

Cuando las forjas (gancho, hoja y *stub*) ya han terminado pasado por los anteriores procesos, pasan a tratamiento térmico para que adquieran una mayor dureza, las forjas son trasladadas desde el proceso de *off line* y *Crush and Broach* hasta el área de hornos (tratamiento térmico) utilizando un carro. En esta área sigue un proceso específico:

- La canasta de forjas se sujeta a una grúa accionada por el operador para elevar la canasta y colocarla en otro carro que se desplaza sobre unas guías a lo largo de los hornos.
- El operador ingresa las canastas a los hornos durante 2 horas a una temperatura de 1525 °F.
- Al término de las dos horas la canasta pasa a un baño de aceite durante 15 minutos haciendo que se produzca un choque térmico, logrando una dureza adecuada.

- Al finalizar el baño de aceite, el operador retira la canasta del horno y traspasa el material a un proceso el cual es el lavado por medio de agua con un agente químico, que ayuda a la remoción de cualquier residuo de aceite.
- Enseguida, el operador ingresa las canastas de temple a un segundo horno, el cual es el horno de revenido ayudando a adquirir la dureza final deseada; este proceso dura aproximadamente dos horas más.
- Al finalizar su tiempo en el horno de revenido, el material se pasa a una cama de enfriado, donde pasa media hora a temperatura ambiente y con ventiladores para disipar el calor.

1.4.9 Abrillantado

Las forjas son abrillantadas para que tengan un mejor aspecto, para ello se utiliza una máquina vibratoria donde las forjas son colocadas para permanecer cuatro horas en constante vibración y movimiento giratorio, junto con pequeñas piedras de material cerámico que son las encargadas de pulirlas con una mezcla de agua y un material abrasivo en forma de polvo. Al finalizar este proceso, se abre un canal que transporta el material a otra máquina vibratoria que contiene fécula de maíz cuyo propósito es secar las forjas, en este proceso pasan alrededor de 10 minutos para que, al finalizar, el operador coloque las piezas ya secas y abrillantadas en contenedores de plástico, listos para su próximo proceso.

1.4.10 Flat Grind

El proceso de la máquina *flat grind* se encarga de realizar un rectificado plano en la cara superior e inferior de las forjas, para ello la máquina cuenta con dos camas de trabajo, dicho proceso dura alrededor de 12.5 minutos en realizar los rectificados de las camas con forjas. Al término de este proceso, las hojas pasan al proceso de afilado y los ganchos pasan por un proceso adicional, llamado *debur*. Dicho proceso se encarga de desbastar la cara superior para eliminar alguna rebaba, que dejara el proceso anterior, para después colocarlas en contenedores verdes y transportarlas al siguiente proceso.

1.4.11 Bevel and Sharpen

En el proceso de *Bevel and Sharpen* se realiza un rectificado únicamente a la hoja, el cual le da un ángulo y un filo. Este proceso consiste en tomar la hoja y colocarla en la máquina, accionar la máquina y una vez que está lista la pieza se eliminan rebabas y se evalúa la hoja con una pieza maestra, si ésta pasa se sumerge en un líquido antioxidante y se coloca en una charola a escurrir el excedente; finalmente se colocan en una caja para el siguiente proceso.

1.4.12 Ensamble

El proceso de ensamble inicia con un operador que coloca a la hoja un resorte para después colocar el gancho y preensamblar un tornillo que dará unión a las forjas convirtiéndolas en tijeras para pasar al siguiente operador. El operador número 2 ajusta e inspecciona la tijera.

1.4.13 Plastisol

El proceso plastisol sólo se aplica para las referencias [REDACTED] y [REDACTED] que han sido preensambladas. Para aplicarlo, las referencias son colocadas en una rejilla y la máquina de plastisol las sumerge en una tina de plastisol, para adherir el plastisol a los mangos de las referencias.

1.4.14 Enmangado

Para las referencias [REDACTED] y [REDACTED] no se realiza el proceso de plastisol para colocar los mangos plásticos. Para estas referencias se utiliza el enmangado que consiste en colocar dos elementos: mangos plásticos prefabricados y *endcaps*, que son una especie de tope para los mangos; una vez colocando estos elementos se pone en una máquina que realiza el ajuste final. Una vez que la tijera está lista, pasa a empaque.

1.4.15 Empaque

En esta área puede haber 2 o 3 operadoras, lo primero que se hace es tomar la tijera, limpiarla de líquido antioxidante y eliminar asperezas e impurezas, seguido de esto se inspecciona y se empaca, una vez empacada se coloca en una caja con una capacidad de seis tijeras, posteriormente, se pasa por una máquina que sella las cajas y las apila.

1.5 Conclusión

En este capítulo se describieron generalidades de [REDACTED], así como sus antecedentes, historia, marco geográfico, política de calidad, la línea de producción en la que se enfoca el trabajo de tesis, las características de las referencias de [REDACTED], la cual es objeto de estudio, los procesos involucrados en la transformación de las referencias en producto final y las características de cada uno.

Capítulo 2 Marco Teórico

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron principios de *lean manufacturing*: JIT, sistema *Pull*, *Kanban*, *VSM*; la técnica de las 5'S, el estudio de tiempos y herramientas de calidad: diagrama de Pareto y diagrama de Ishikawa. En este capítulo se muestra una breve descripción de cada una de estas técnicas utilizadas para cumplir con el objetivo: diseñar e implementar un sistema *Kanban* para mejorar el proceso de una línea de producción en una empresa manufacturera ubicada en [REDACTED] Veracruz.

2.1 Generalidades del pensamiento esbelto

La filosofía del pensamiento esbelto o "*Lean thinking*" ha sido utilizado por empresas que desean aumentar su competitividad en el mercado. Estas empresas han obtenido mejores resultados empleando menos recursos. El objetivo primordial de esta filosofía es eliminar todas las actividades que no agregan valor en todo el proceso productivo. Originalmente fue pensada para la producción de automóviles en Japón. Sin embargo, sus técnicas y principios se han aplicado a una gran variedad de procesos diferentes a éste, tanto de servicios, manufactura, construcción, energía, procesos, transporte, entre otros (Reza, 2017).

Reza (2017), menciona que la filosofía *Lean* incide sobre la sobreproducción, esperas, inventario, transporte, defectos, desperdicio de procesos, movimientos innecesarios y subutilización de la capacidad de los empleados, pero hay otro aspecto fundamental en esta metodología y es que además se basa en una filosofía de negocio que valora la comprensión de las personas y los factores que las motivan (Figura 2. 1).

2.2 Principios *Lean Manufacturing*

Implementar un enfoque de *Lean Manufacturing* en una organización no es simplemente poner en práctica unas cuantas técnicas para mejorar los procesos. Comprende un cambio en el pensamiento de toda la empresa, la materia prima al producto terminado, del orden a la entrega y desde la idea a la concepción.

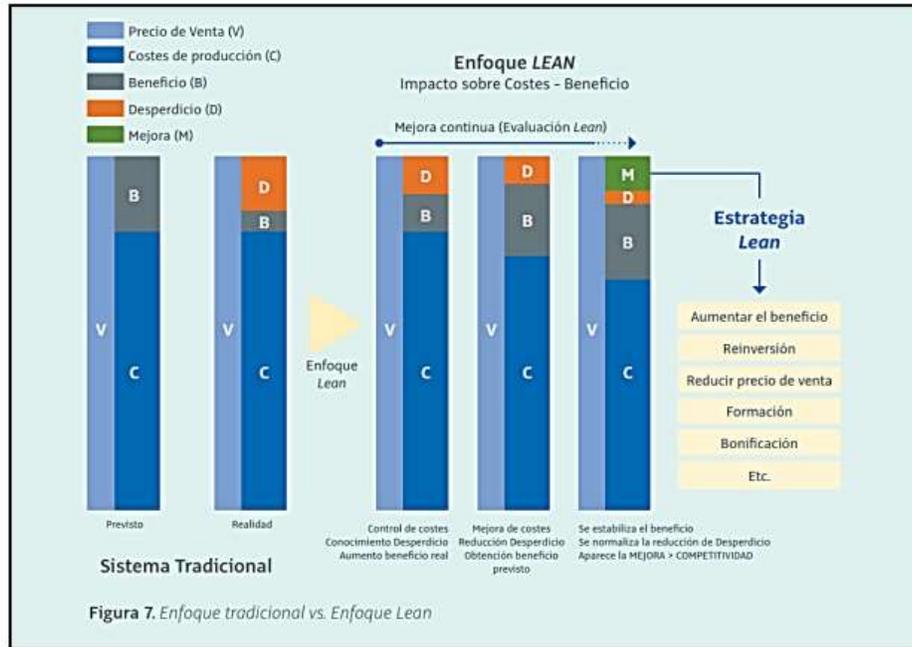


Figura 2. 1 Enfoque tradicional Vs Enfoque Lean (Reza, 2017).

Hay 5 principios (Figura 2.2) que sirven de guía para cambiar un sistema de producción al de uno *Lean*; éstos son (Tejeda, 2011 y Wilson, 2010):

1. Definir el valor del producto.
2. Visualizar el proceso.
3. Crear flujo.
4. Sistema de jalado o “Pull”.
5. Buscar la excelencia.



Figura 2.2 Principios Lean Manufacturing (Wilson, 2010).

En el entorno *Lean*, la eliminación sistemática del desperdicio se realiza a través de tres pasos que tienen como objetivo la eliminación sistemática del despilfarro y todo aquello que resulte improductivo, inútil o que no agregue valor al producto; estos tres pasos son (Wilson, 2010):

1. Reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro de los procesos.
2. Actuar para eliminar el desperdicio aplicando la técnica *Lean* más adecuada.
3. Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para posteriormente volver a iniciar el ciclo de mejora.

El reconocimiento del desperdicio de cada empresa es el primer paso para la selección de las técnicas más adecuadas.

2.2.1 Definir el valor

El valor es lo que satisface las necesidades de los clientes, es por lo que está dispuesto a pagar y es fundamental entender cuáles son los requisitos del cliente. El fabricante es el encargado de crear ese valor y ofrecerlo a precios que el cliente entienda que vale el producto y esto se logra a través del diálogo con clientes específicos.

El definir el valor es lo primero que se debe hacer bajo un pensamiento *Lean* y consiste en estudiar todas las operaciones del proceso de producción en tres niveles, desde el concepto de diseño e ingeniería hasta su lanzamiento, desde el flujo de información cuando se recibe la orden de producción hasta que se despacha y desde el flujo físico de la materia prima hasta ser elaborado como un producto terminado.

Analizar el flujo de valor permite identificar tres tipos de acciones que están presentes en un proceso. Algunas actividades son las que realmente agregan valor, otras actividades no agregan valor, pero por algunas condiciones son necesarias. En respuesta a estas restricciones, estas actividades deben ser simplificadas o reducidas (Figura 2. 3) y otras que no agregan valor y pueden ser eliminadas del proceso (Tejeda, 2011).

		¿LA ACTIVIDAD AGREGA VALOR ?	
		SI	NO
¿NECESARIA?	SI	MAXIMIZAR	MINIMIZAR
	NO	CREAR LA NECESIDAD PARA VENDERLA AL CLIENTE	ELIMINAR

Figura 2. 3 Actividades de valor y no valor agregado (Tejeda, 2011).

Toda actividad que no agregue valor es considerada como desperdicio o despilfarro, a esto los japoneses les llaman *MUDA*. El objetivo principal de *Lean* es eliminar todo tipo de desperdicio. La filosofía de *Lean Manufacturing* determina que los desperdicios existentes en un proceso pueden ser siete, más un octavo desperdicio que fue añadido por Womack:

- **Sobreproducción.** Hacer el producto antes, más rápido o en cantidades mayores a las requeridas por el cliente, ya sea interno o externo.
- **Demoras o tiempos de espera.** Operarios o clientes esperando por material o información
- **Inventario.** Almacenamiento excesivo de materia prima, en proceso o terminada. Ocupan espacio y requieren de instalaciones adicionales de almacenamiento.
- **Transporte.** Mover material en proceso o producto terminado de un lado a otro. No agrega valor al producto.
- **Desperfectos.** Reparación de un material en proceso o repetición de un proceso.
- **Desperdicios de proceso.** Esfuerzo que no agrega valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente.
- **Movimiento.** Cualquier movimiento de personas o máquinas que no agreguen valor al producto o servicio.
- **Subutilización del personal.** Cuando no se utilizan las habilidades y destrezas del personal (habilidad creativa, física y mental).

Visto desde otro punto de vista, los desperdicios son presentados en la Tabla 2. 1, donde se muestran de igual manera síntomas, posibles causas e ideas, además de herramientas para eliminarlas.

2.2.2 Visualizar el proceso

Para entender de una mejor manera el proceso productivo de una empresa, es estilado en la manufactura esbelta describir el proceso por medio de mapas debido a su fácil manejo y fácil interpretación. Los mapas deben de identificar cada una de las acciones que se realizan a lo largo del proceso, a esto, cada una de estas actividades se organizan en tres categorías:

1. Aquellas que crean o agregan valor al producto.
2. Las que no crean valor, pero que en la actualidad son inevitables, o por las actuales tecnologías y recursos de producción.
3. Aquellas que no crean valor de acuerdo con el cliente y deben ser eliminadas.

Tabla 2. 1 Tipos de desperdicios, posibles causas y herramientas para eliminarlas (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).

Tipo de desperdicio	Síntomas	Posibles causas	Ideas y herramientas
Sobreproducción Producir mucho o más pronto de lo que el cliente necesita.	Se producen muchas partes o son producidas con mucha anticipación. Las partes se acumulan de una manera incontrolada en inventarios. Altos tiempos de ciclo. Pobres tiempos de entrega.	Mucho tiempo para adaptar el proceso para que produzca otro modelo o parte. Tamaño grande de lotes. Pobre programación de la producción o de las actividades. Desbalance de flujo de materiales.	Justo a tiempo, SMED, reducción de tiempos de preparación, sincronizar procesos, haciendo sólo lo necesario.
Esperas Tiempo desperdiciado (de máquinas o personas), debido a que durante ese tiempo no hubo actividades que le	Trabajadores en espera de materiales, información o de máquinas no disponibles. Operadores parados y viendo las máquinas producir. Grandes retrasos en la	Trabajadores en espera de materiales, información o de máquinas no disponibles. Operadores parados y viendo las máquinas producir. Grandes retrasos en la	Tamaño de lote grandes. Mala calidad o malos tiempos de entrega de los proveedores. Deficiente programa de mantenimiento. Pobre programación.

Tabla 2. 1 Tipos de desperdicios, posibles causas y herramientas para eliminarlas (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).

Tipo de desperdicio	Síntomas	Posibles causas	Ideas y herramientas
agregaran valor al producto	producción. Altos tiempos de ciclo.	producción. Altos tiempos de ciclo.	
Transportación Innecesario movimiento de materiales y gente.	Mucho manejo y movimiento de partes. Excesivos daños por manejo. Largas distancias recorridas por partes en proceso. Altos tiempos de ciclo.	Procesos secuenciales que están separados físicamente. Pobre distribución de planta. Altos inventarios; la misma pieza en diferentes lugares.	Procesamiento en flujo continuo. Sistemas <i>Kanban</i> . Distribución de Planta para hacer innecesario el manejo/Transporte.
Sobre procesamiento <i>Esfuerzos que no son requeridos por los clientes y que no agregan valor.</i>	Ejecución de procesos no requeridos por el cliente. Autorizaciones y aprobaciones redundantes. Costos directos muy altos.	Diseño del proceso y el producto. Especificaciones vagas de los clientes. Pruebas excesivas. Procedimientos o políticas inadecuadas	Simplificar el proceso y eliminar actividades y operaciones que no agregan valor al proceso.
Inventarios Mayor cantidad de partes y materiales que el mínimo requerido para atender los pedidos del cliente.	Inventarios obsoletos. Problemas de flujo de efectivo. Altos tiempos de ciclo. Incumplimiento en plazos de entrega. Muchos retrabajos cuando hay problemas de calidad	Sobreproducción. Pobres pronósticos o mala programación. Altos niveles para los inventarios mínimos. Proveedores no confiables. Tamaño de lotes grandes.	Acortar tiempo de separación y respuesta. Organizar el proceso en forma <i>Kanban</i> . Aplicar Justo a Tiempo.
Movimiento Movimiento innecesario de gente y materiales dentro de un proceso.	Búsqueda de herramientas o partes. Excesivos desplazamientos de los operadores. Baja productividad.	Pobre distribución de las celdas de trabajo, herramientas y materiales. Falta de controles visuales. Pobre diseño de proceso.	Organización de celdas de trabajo. Procesamiento en flujo continuo. Administración visual.
Retrabajo Repetición o corrección de un proceso.	Procesos dedicados al retrabajo. Altas tasas de defectos. Departamentos de calidad o inspección muy grandes.	Mala calidad de materiales. Máquinas en malas condiciones. Procesos no capaces e inestables. Poca capacitación. Especificaciones vagas del cliente.	Control estadístico de procesos. Mejora de procesos. Desarrollo de Proveedores.

2.2.3 Crear flujo

Una vez que el valor es especificado en forma precisa, que el flujo de valor para un producto ha sido mapeado y que se ha avanzado en la eliminación de *mudas* es tiempo de profundizar en las soluciones para alcanzar un proceso esbelto, que consiste en hacer que la creación de valor fluya sin interrupciones. El material debe fluir a lo largo del proceso de producción al ritmo del *Takt Time*, de forma continua de pequeñas cantidades de producción hasta lograr fabricar y mover una pieza a la vez sin interrupciones y sin vuelta atrás.

El flujo continuo se puede lograr mediante la reducción del tiempo de preparación de la maquinaria utilizando la herramienta de *SMED* para lograr producir pequeñas cantidades o balanceando la carga de trabajo entre los operarios, de modo que todos tengan un tiempo de ciclo igual al *Takt Time*.

2.2.4 Sistema de jalado o “Pull”

Una vez que se han aplicado los tres primeros principios de un proceso esbelto, entonces lo que sigue es dejar que el cliente jale el producto desde la empresa cuando él lo necesite. Teniendo en cuenta que cliente es la figura central del proceso productivo, éste debe ser quien jale los productos en el momento que los desee y que cada proceso jale del proceso anterior.

Bajo la filosofía *Lean* se debe de considerar dentro de la empresa en hacer que el sistema de producción trabaje bajo los pedidos de los clientes o conforme va requiriendo la siguiente etapa del proceso, en lugar que el producto empuje el producto hacia a ellos.

2.2.5 Buscar excelencia o perfección

En este principio se debe fundamentar la búsqueda de mejora de un proceso, su finalidad es profundizar continuamente en la aplicación de los otros cuatro principios. Existe una actitud de continua revisión de los procesos buscando como continuar eliminando desperdicios, en otras palabras, siempre hay espacio para mejorar.

Los resultados de estos esfuerzos se perciben en las reducciones de costos, esfuerzo y tiempos de trabajo en todas las áreas de la empresa. El estímulo más importante para la perfección es la

transparencia, ya que en *Lean Manufacturing* todo mundo puede ver todo, y con esto, se facilita encontrar mejores formas para crear valor.

2.3 Value Stream Mapping (VSM)

El mapa de la cadena de valor es una técnica orientada a la versión *Toyota* de *Lean Manufacturing TPS (Toyota Production System)*. Esta técnica ayuda a las personas a entender y simplificar el trabajo de proceso y después aplicar con certeza herramientas específicas y técnicas *Lean*. El mapeo del flujo de valor es una herramienta que, mediante iconos y gráficos, muestra en una sola figura la secuencia y el flujo de material e información de todos los componentes sub-ensambles en la cadena de valor que incluye manufactura, suplidores y distribución al cliente (Lee & Snyder, 2007).

Esta herramienta no sólo ve un proceso en específico, sino que presenta una imagen global de todo el sistema buscando optimizarlo por completo, además que permite identificar todas las actividades en la planeación y la fabricación de un producto, con el fin de encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan un impacto sobre toda la cadena y no en procesos aislados.

El VSM fundamenta la diagramación de dos mapas de la cadena de valor, uno presente y uno futuro, que harán posible documentar y visualizar el estado actual y real del proceso que se va a mejorar, y el estado posterior, ideal o que se quiere alcanzar una vez se hayan realizado las actividades de mejoramiento.

En el mapa de la cadena de valor de estado presente se observan los inventarios en proceso e información para cada operación relacionada con su capacidad, disponibilidad y eficiencia, también de la demanda del cliente, la forma de procesar la información del cliente a la planta y de la planta a los proveedores, la forma en que se distribuye al cliente y la distribución por parte de los proveedores y finalmente la manera en que se suministra la información a los procesos. Éste debe de contener iconos del cliente, proveedor, requisitos del cliente, producción por mes y por día, las ventas, entregas, cajas de procesos y datos de los mismos con sus tiempos, número de los operadores, inventario, flechas de empuje, de jalar y de primeras entradas primeras salidas.

En el mapa de la cadena de valor de estado futuro se presenta parte del plan de acción para implementar las herramientas *Lean*, dada una situación previamente analizada; éste debe de contener el detalle paso a paso para lograr el plan y cuando hacerlo, las metas planteadas de una forma que se pueda medir, y los puntos claros de control con fechas límites y responsabilidades.

Los objetivos del *Value Stream Mapping* son tres fundamentalmente:

- Identificar todos los pasos del proceso trabajando desde que el cliente ordena hasta que recibe el producto final.
- Identificar el flujo de materiales y de información y el efecto de ellos entre sí.
- Distinguir entre actividades que adicionan valor al producto y actividades que no adicionan valor al producto (desperdicio).

La metodología del *VSM* se divide en 4 etapas principales (Figura 2. 4), las cuales son identificar la familia de productos, representar el estado actual del proceso, representar el estado futuro del proceso, y realizar la planeación de acciones.



Figura 2. 4 Metodología para la realización de un VSM (Elaboración propia).

2.3.1 Antecedentes del VSM

El VSM, que proviene de la industria automotriz, fue popularizado por Womack y Jones en su libro "*Learning to see*". Para Lee & Snyder (2007), no está claro si su nacimiento está ligado a

la empresa Toyota, y mucho menos si se inventó ahí o, sí, incluso, Toyota lo utilizó de manera formal en su proceso productivo.

La situación y el tipo de proceso en las que se desarrolla por primera vez el *VSM*, explica algunas de las limitaciones del *Value Stream Mapping*, ya que se desarrolla bien en procesos con altos volúmenes de productos y poca variabilidad. Aplicar esta técnica en otras situaciones puede ser problemático puesto que es difícil obtener algunos indicadores propios de la técnica. Sin embargo, puede ser adaptada a un sistema por lotes utilizando otros indicadores que permitan evaluar el sistema. La Tabla 2. 2 muestra algunos factores en los que el *VSM* se puede aplicar con buenos resultados.

Tabla 2. 2 Factores a considerar para aplicar VSM. (Lee & Snyder, 2007).

Factores a considerar	Aplica	Puede no aplicar
Volumen	Alto volumen	Bajo volumen puede ser problemático
Variedad	Baja variedad	Alta variedad
Equipo	Equipo dedicado	Múltiple equipo compartido
Rutas	Rutas sencillas	Rutas complejas
Componentes	Pocos	Muchas partes y sub-ensambles
Estrategia	Sistema de producción Toyota	No Toyota y variaciones de Toyota

2.3.2 Generalidades de VSM

El *VSM* ayuda a obtener datos de manera sistemática de un sistema productivo, ya que aborda visualmente secuencias de procesos, flujos de materiales, flujos de información, inventarios y otras características propias del sistema mediante iconos y símbolos. Estos iconos y símbolos tienen significados específicos y se requiere de su conocimiento para poder desarrollar un *VSM* de manera adecuada.

A continuación, se muestra la representación y descripción de los iconos y símbolos utilizados para el desarrollo adecuado de un *Value Stream Mapping* (Lee & Snyder, 2007):.

- **Iconos de proceso.** Estos iconos representan equipos, grupos de trabajo, departamentos o proveedores y clientes. El tiempo empleado en estas zonas suele ser de valor agregado (Tabla 2. 3).
- **Iconos de materiales.** Estos iconos representan el material en almacenamiento o transporte. Tales actividades raramente agregan valor (Tabla 2. 4).
- **Iconos de información.** Estos iconos representan información del sistema productivo, tal como el flujo de información y el método de gestionarlo (Tabla 2. 5).
- **Iconos diversos.** Estos iconos, los cuales se muestran en la Tabla 2. 6, son utilizados para representar el tiempo de valor agregado y no agregado de cada actividad desarrollada en el sistema de producción y la ubicación de las oportunidades de mejora que existen en el sistema productivo.

Tabla 2. 3 Descripción de los iconos del proceso del VSM (Lee & Snyder, 2007).

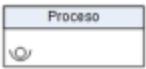
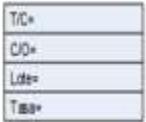
Símbolo	Representación	Descripción
	Cliente/ Proveedor	Este icono representa al proveedor cuando se encuentra en la parte superior izquierda; el punto de partida habitual para el flujo de material. Este icono también representa al cliente cuando se coloca en la parte superior derecha; el punto final habitual para el flujo de material.
	Procesos dedicados	Este icono es un proceso, operación, equipo o departamento, a través del cual fluye el material.
	Caja de datos	Este icono describe la información del proceso, datos necesarios para el análisis del sistema. La información que contienen generalmente es tiempo de ciclo, tiempo de cambio, tiempo de configuración de la máquina, número de operadores, capacidad disponible, tamaño de lote y la tasa de transferencia del material.
	Celda de trabajo	Este símbolo indica que varios procesos se integran en una celda de manufactura. Estas células generalmente procesan un solo producto o familia

Tabla 2. 3 Descripción de los iconos del proceso del VSM (Lee & Snyder, 2007).

Símbolo	Representación	Descripción
		de productos similares. El producto se mueve en lotes pequeños o piezas individuales.

Tabla 2. 4 Descripción de los iconos de materiales del VSM (Lee & Snyder, 2007).

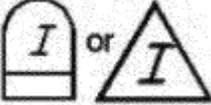
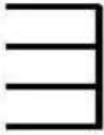
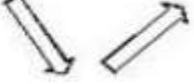
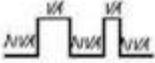
Símbolo	Representación	Descripción
	Inventario	Estos iconos muestran un inventario entre dos procesos. También representa el almacenamiento de materias primas y productos terminados.
	Envío	Este icono representa el movimiento de las materias primas desde los proveedores hasta la recepción de la fábrica o el movimiento de los productos terminados desde el envío de la fábrica hasta los clientes.
	Flecha de empuje	Este icono representa el empuje de material de un proceso al siguiente proceso.
	Supermercado	Este icono representa inventario “Supermercado” (punto de acción <i>Kanban</i>), éste regula la producción de acuerdo con la demanda existente.
	Jale de material	Los supermercados se conectan a los procesos posteriores mediante este icono de “atracción” que indica la existencia de una demanda.
	Carril FIFO	Este icono se usa cuando los procesos están conectados con un sistema FIFO que limita la entrada. Por ejemplo: una banda transportadora.
	Inventario de seguridad	Este icono representa un inventario de seguridad para proteger al sistema de variaciones bruscas de los pedidos o fallas del sistema.
	Envío externo	Este icono representa envíos de los proveedores o los clientes que usan transporte externo.

Tabla 2. 5 Descripción de los iconos de información de VSM (Lee & Snyder, 2007).

Símbolo	Representación	Descripción
	Control de producción	Esta caja representa un programa de control de producción o departamento de control, persona u operación.
	Información manual	Esta flecha representa el flujo de información obtenida mediante conversación, informe u otras notas relevantes.
	Información electrónica	Esta flecha el flujo de información mediante dispositivos electrónicos como internet, correo electrónico, intranets, redes LAN, Fax, teléfono, etc.
	<i>Kanban</i> de producción	Este icono desencadena la producción de un número predefinido de partes.
	<i>Kanban</i> de retirada	Este icono representa a una tarjeta o dispositivo que instruye a un manejador de material a transferir materiales de un lugar a otro.
	Señal <i>Kanban</i>	Este icono se utiliza siempre que los niveles de inventario bajan a un punto mínimo.
	<i>Kanban</i> de mensaje	Este icono representa un lugar donde las tarjetas <i>Kanban</i> residen para su recogida o retirada. Generalmente utilizado en sistemas de dos tarjetas.
	Secuencia de tracción	Este icono representa un sistema de tracción que da instrucciones a los procesos de sub ensamblaje para un tipo predeterminado de producto y la cantidad.
	Nivelación de carga	Este icono es una herramienta para señales de proceso por lotes <i>Kanban</i> con el fin de nivelar el volumen de producción y mezclar durante un periodo de tiempo.
	MRP/ERP	Este icono representa la programación de la producción utilizando MRP/ERP u otros sistemas centralizados.
	Ir a ver	Este icono representa la recopilación de información a través de medios visuales.
	Información verbal	Este icono representa el flujo de información verbal o personal.

Tabla 2. 6 Descripción de los iconos diversos del VSM (Lee & Snyder, 2007).

Símbolo	Representación	Descripción
	Oportunidad de mejora	Estos iconos se utilizan para destacar las necesidades de mejora y talleres de planeación <i>Kaizen</i> en procesos específicos que son

		fundamentales para lograr el VSM, estado futuro, de la cadena de valor.
	Operador	Este icono representa a un operador.
	Línea de tiempo	La línea de tiempo muestra los tiempos de valor añadido (tiempos de ciclo) y valor no añadido (espera).

Es importante mencionar que los iconos mostrados de la *Tabla 2. 3* a la *Tabla 2. 6* no son estandarizados y pueden ser modificados cuando así lo requiera el sistema productivo o proponer un nuevo icono cuando no exista una representación adecuada de la actividad que se desea representar (Lee & Snyder, 2007).

2.3.3 Seleccionar la familia de productos a analizar

Calva (2011), sugiere seleccionar un grupo de tres a cinco personas que conozcan muy bien el proceso que se va a mapear. Personas con una actitud positiva al cambio y mente abierta. Seleccionar de entre ellos al líder que coordinará las actividades y que tenga la capacidad de mantener al equipo enfocado en lograr resultados.

El equipo seleccionado deberá recibir capacitación en cuanto a:

- a. Los diferentes tipos de desperdicios.
- b. Diferenciar claramente los tipos de actividades desde la perspectiva del cliente; las que añaden valor agregado y las que no añaden valor agregado.

Después de crear el equipo, se deberán seleccionar uno de los criterios que se pueden utilizar para agrupar familias de productos. La matriz de clasificación propuesta por Calva (2011), muestra las posibilidades (Figura 2. 5).

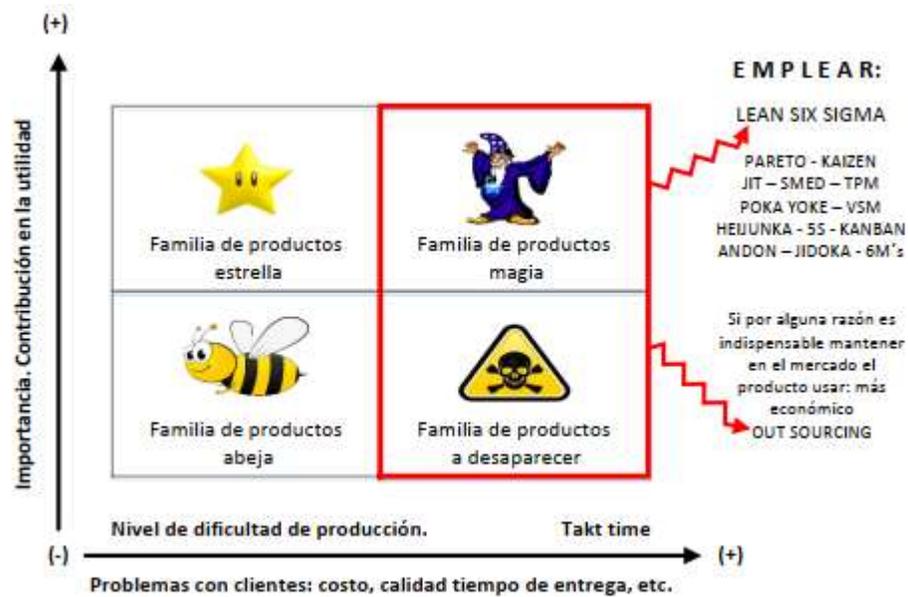


Figura 2. 5 Matriz de clasificación. Familia de productos (Cabrera Calva, 2011).

La familia de productos “estrella o magia”, son las que tienen gran importancia en la contribución de la utilidad. El tipo de familia estrella recomienda aplicar la regla de Pareto, para cuando el número de criterios y posibles familias es alto, la cual nos dice que 20% de los tipos de proceso manejan el 80% de los productos; 20% de los clientes consumen el 80% de un producto. Normalmente los productos “estrella” tienen poco por mejorar, pero conviene hacerlo inclusive con ellos como segunda opción. Con lo cual nos permite tener una mejor visualización de la familia más conveniente a emplear en nuestro mapeo.

La familia de productos “abeja o productos a desaparecer”, son las familias en las que no se debe inyectar mucho capital, ya que su contribución en la utilidad no es mucha. Sin embargo, la familia de productos abeja, a pesar de no tener relevancia en la utilidad, tampoco tiene un gran nivel de dificultad en la producción ni problemas con los clientes.

En la matriz de clasificación de Calva (2011), el autor, también sugiere algunas técnicas y herramientas que se pueden emplear para dar solución a los principales problemas que se presentan en la familia de productos magia y de productos a desaparecer.

Para el caso de familia de productos magia Calva (2011) sugiere emplear herramientas Lean Six Sigma, ya que este tipo de familia presenta problemas con el cliente, relacionados con el costo, calidad y tiempo de entrega. Para el caso de la familia de productos a desaparecer es necesario preguntarse si es indispensable mantener en el mercado el producto, y de ser necesario plantear la posibilidad de utilizar *outsourcing*.

Si se requiere una selección de familias más compleja Calva (2011) sugiere otras formas de identificar criterios para establecer macro familias. Estos criterios de selección se muestran en la Tabla 2. 7.

Tabla 2. 7 Criterios para establecer macro familias (Cabrera Calva, 2011)

Criterio por identificar	Macro familias de productos	Ejemplo
1. Tipo de producto	Cada familia la conforman productos del mismo tipo o función.	Motores y generadores. Testamentos/ escrituras/donaciones.
2. Mercado	Geográfico, o tipo de cliente: final, distribuidor, etc.	PEMEX, COPETROL, PETROVEN etc. UE, USA, Seguros de vida/ autos/ Gastos médicos.
3. Clientes	Familia de productos que se venden a uno o varios clientes.	Una familia para dos clientes dominantes, el resto de productos constituye una 3° familia.
4. Grado de contacto con el cliente	Agrupar productos por el grado de influencia del cliente en el producto final.	Consulta externa y quirúrgica, ambulatoria Análisis de sangre/ rayos X/ mamografías/ farmacia/ <i>check up</i> .
5. Volumen de venta	Agrupar productos con similar volumen de ventas.	Alto volumen, bajo volumen. Venta directa, por catálogo y corporativo.
6. Patrones de pedido	Agrupar productos en base a los diferentes patrones de recibir pedidos.	Comida a la carta/ Buffet; Comidas/ Cenas. Series largas y repetitivas por un lado, series cortas e irregulares por otra.
7. Base competitiva	Agrupar productos en base a sus argumentos de venta.	Bajo costo y rápida entrega, productos personalizados.
8. Tipo de proceso	Productos con similares procesos en la misma familia.	Todos los que requieren montaje por un lado, todos los que no requieren montaje por otro.

Tabla 2. 7 Criterios para establecer macro familias (Cabrera Calva, 2011)

Criterio por identificar	Macro familias de productos	Ejemplo
9. Características de productos	Productos con similares características físicas o materias primas.	Grandes contra pequeños, ligeros contra pesados, etc.

Una vez identificadas las familias, se debe limitar el mapa solo a una familia de productos y elegir la familia de productos que tengan un mayor impacto en los requisitos del negocio. Preferentemente una familia que tenga un flujo común mínimo de un 70% (y/o un *takt time* mayor de 35 segundos para procesos que trabajen con equipos industriales; con lo que se tendrán equipos dedicados). Es recomendable que la familia seleccionada no tenga muchos tipos de productos, para poder facilitar el mapeo. Siendo conveniente que la familia de productos sea de alto volumen y frecuencia.

Anote claramente cuál es su familia de productos seleccionada, cuantas piezas se realizan en dicha familia, cuanto es requerido por el cliente y con qué frecuencia. Verifique que la seleccionada es la más conveniente o si se puede optar por otra que se considere mejor.

2.3.4 Proceso de elaboración del VSM, estado presente

Aun cuando los iconos y símbolos para la elaboración de un VSM no son estandarizados, la mayoría de los autores coinciden en que la realización de un VSM debe seguir una serie de pasos sistemáticos para desarrollarlo de manera correcta. Lee & Snyder (2007), proponen los siguientes pasos para elaborar un VSM, estado presente:

1. Paso 1. Dibujar los iconos del cliente, proveedor y el control de producción.
2. Paso 2. Introducir las necesidades del cliente por mes y por día. Si el cliente realiza compras en lotes infrecuentes, entonces se debe tener en cuenta la frecuencia y el tamaño del lote.
3. Paso 3. Calcular los requisitos de envase y producción diaria. La producción debe corresponder a las necesidades del cliente. Cuando los contenedores tienen múltiples piezas, entonces se debe calcular el número de contenedores requeridos.

4. Paso 4. Dibujar el icono de envío a los clientes y camiones con frecuencia de entrega, ya sean cargas completas, parciales o mixtas.
5. Paso 5. Dibujar el icono de envío entrante, camiones y frecuencia de entrega, ya sean cargas completas, parciales o mixtas.
6. Paso 6. Dibujar las cajas para cada proceso en secuencia, de izquierda a derecha.
7. Paso 7. Añadir los cuadros de datos por debajo de las cajas de proceso y cronograma de valor agregado y sin valor agregado.
8. Paso 8. Añadir las flechas, métodos de comunicación y frecuencias. Esto puede requerir una considerable investigación.
9. Paso 9. Obtener los atributos del proceso y agregarlos a cuadros de datos.
10. Paso 10. Agregar los símbolos de operadores y números.
11. Paso 11. Agregar las ubicaciones de inventario y niveles en las unidades de producción.
12. Paso 12. Agregar las características del flujo de proceso: empujar, tirar, iconos FIFO.
13. Paso 13. Añadir cualquier otra información que pueda resultar útil.
14. Paso 14. Añadir las horas de trabajo. Utilizar las horas netas disponibles planificadas o programadas para la fábrica o departamento.
15. Paso 15. Calcular los plazos de entrega y situarlos en la línea de tiempo. Para los procesos, el tiempo de espera y el tiempo de ciclo. Para los transportes, el tiempo requerido para el transporte.
16. Paso 16. Calcular el tiempo de ciclo total y plazo de ejecución. Para esto se debe sumar el total de los tiempos de VA y NVA de la línea de tiempo y colocarlo en un cuadro de información al final de la línea de tiempo.

2.3.5 Proceso de elaboración del VSM, estado futuro

La elaboración de un VSM, estado futuro, requiere de un análisis detallado del VSM, estado presente, y del conocimiento de los principios y herramientas de *lean Manufacturing*, puesto que representa las oportunidades de mejora del sistema, es decir, como debería ser el sistema considerando estrategias de optimización.

Es importante tener en cuenta que un VSM de estado futuro está sujeto a cambios a medida que progresa el trabajo, ya que no es un diseño definitivo y una idea de mejora puede dar origen a nuevas ideas para la optimización del sistema.

Lee & Snyder (2007), proponen los siguientes nueve pasos para la elaboración de un VSM futuro:

- Paso 1. Revisar el VSM, estado presente. Esta revisión debe responder a las siguientes tres preguntas:

1. ¿El VSM, estado presente, es correcto?
2. ¿Todo el equipo logra entender el mapa y sus detalles?
3. ¿Dónde se encuentran las principales áreas de oportunidad?

La pregunta tres es muy importante, ya que tiene la finalidad de identificar las principales oportunidades de mejora. Estas áreas de oportunidad pueden estar ligadas con los siguientes problemas:

- Grandes volúmenes de inventario.
 - Distancias grandes para el transporte de materiales.
 - Largos periodos de preparación.
 - Problemas de calidad.
 - Menor disponibilidad por averías.
 - Retrasos.
- Paso 2. Calcular el tiempo *Takt*. Este tiempo está basado en la demanda del cliente y su finalidad es identificar si existe incapacidad en el proceso de fabricación mediante comparación. Es decir, si cualquier tiempo de proceso es más largo que el tiempo de procesamiento requerido, entonces existe un problema de capacidad.

Algunas de las posibilidades para resolverlo son:

- Acelerar el proceso mediante estrategias de mejora.
 - Invertir en mejores equipos o contratar más personas.
 - Eliminar el proceso.
- Paso 3. Identificar el proceso cuello de botella. Éste puede ser identificado con el tiempo de ciclo más largo.

- Paso 4. Identificar los tamaños de los lotes. El tamaño de los lotes debe estar en función de los costos de instalación y de almacenamiento. Trabajar con lotes pequeños reduce el inventario, permite la aplicación de *Kanban* y puede aumentar la capacidad y flexibilidad del proceso.
- Paso 5. Identificar las posibles celdas de trabajo y determinar si es factible, o no, de acuerdo con el proceso y las posibilidades económicas.
- Paso 6. Identificar las ubicaciones para *Kanban*, *Broadcast* y *FIFO*.
- Paso 7. Establecer los métodos de programación de la producción.
- Paso 8. Calcular los tiempos de entrega y tiempos de ciclo. El tiempo de entrega proviene de la suma de todos los tiempos de la línea de tiempo y el tiempo total de ciclo proviene de la suma de los totales de todas las cajas de proceso (VA y VNA).
- Paso 9. Añadir los iconos que indican las áreas con oportunidades de mejora a futuro.

2.4 Just In Time (JIT)

Just in Time (JIT) o Justo a Tiempo (JAT) es un enfoque japonés, conocido por diferentes nombres, entre ellos “inventario cero”, “manufactura sincronizada”, “producción ligera”, “producción sin inventario”, “manufactura de flujo continuo”, etc. Para profundizar más en el tema se describe más en la Sección 3.4.4.1 Coordinación del abastecimiento de insumos y 3.4.4.2 Coordinación del abastecimiento de forjas (Arndt, 2005).

2.4.1 Conceptos Just in Time (JIT)

El propósito del *just in time* (justo a tiempo), uno de los dos pilares de la casa del *lean manufacturing*, es fabricar lo que se necesita, cuando se necesita y la cantidad que se necesita, utilizando máquinas simples y el mínimo de materiales, mano de obra y espacio. Cuanto más nos alejemos de este objetivo más incrementaremos la sobreproducción y, por lo tanto, el despilfarro.

Con la finalidad de cumplir los pedidos y las previsiones de la demanda, la fábrica tradicional empuja (*push*) los productos a través de un sistema productivo caracterizado por elevados tiempos de cambio no cuestionados, lotes grandes, colas y esperas. La fábrica tradicional sobreproduce y empuja, es decir, produce sin tener en cuenta el estado del inventario entre

procesos. No pone límites al inventario entre procesos, dando lugar a largos *lead time*, defectos, transportes innecesarios. Frecuentemente, la fábrica tradicional ha confiado la mejora de la productividad de su sistema de fabricación a la implantación de programas informáticos de gestión de la producción sin considerar que añadir complejidad a la gestión de un sistema productivo ineficiente no suele producir buenos resultados. Por el contrario, el *just in time* minimiza la sobreproducción, uno de los males de la fábrica tradicional, mediante un enfoque opuesto: trata en primer lugar de disminuir la complejidad del sistema productivo de tal forma que su gestión sea más sencilla (Madariaga, 2019).

2.4.2 Pasos para la implementación de JIT

Para implantar el JIT en una fábrica tradicional, que empuja (*push*) las órdenes de fabricación de sus productos a través de su sistema máquina-inventario, (Madariaga, 2019), propone los siguientes pasos:

1. Seleccionar una familia de productos.
2. Calcular el *takt time* y el tiempo de ciclo planificado.
3. Crear flujo continuo mediante células en U.
4. Calcular y reducir el EPEC.
5. Reducir los tiempos de cambio (*SMED*).
6. Conectar procesos mediante un sistema *pull* de *FIFO lane*.
7. Conectar procesos mediante un sistema *pull* de supermercados y *kanban*.
8. Programar la demanda del cliente en un único proceso de la corriente de valor, el *pacemaker*. Llamamos “corriente de valor” (*value stream*) de una familia de productos al conjunto de procesos que contribuyen a transformar la materia prima en producto terminado.

2.5 Prueba de hipótesis

El procedimiento mediante el cual se toma la decisión de rechazar o aceptar una hipótesis se denomina “prueba de hipótesis” (Hines et al., 1993), para profundizar en el tema los siguientes apartados muestran un mayor detalle del tema.

2.5.1 Definición y clasificación de las técnicas para prueba de hipótesis

En la actualidad, hay varias definiciones dadas por diferentes autores para explicar que es una prueba de hipótesis, una de estas definiciones es la dada por Arrioja (2018):

“La Hipótesis es una afirmación (suposición o conjetura) que se hace sobre la distribución de probabilidad o el valor de un parámetro de una o más poblaciones y en la cual se busca evaluar con base en la información obtenida de una muestra aleatoria de la(s) población(es) bajo estudio.”

El nombre completo de esta técnica es prueba de hipótesis estadística, pero por comodidad se le llama simplemente prueba de hipótesis. Arrioja (2018) propone una clasificación de las técnicas que conforman las pruebas de hipótesis dentro de la estadística inferencial, la cual se muestra en la Figura 2. 6.

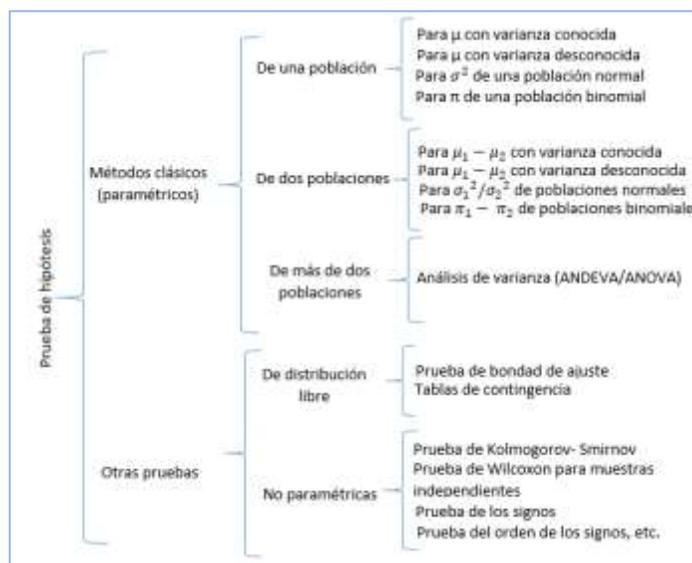


Figura 2. 6 Clasificación de las técnicas de prueba de hipótesis (Arrioja Rodríguez, 2018).

2.5.1 Metodología para la aplicación de una prueba de hipótesis

Arrijoa (2018), propone la siguiente metodología general para la aplicación de una prueba de hipótesis:

1. Elección del parámetro. El investigador deberá determinar el parámetro que se utilizará para llevar a cabo la comprobación, que deberá ser aquel que tiene más significado para quienes analizarán los resultados; generalmente es la media o el porcentaje o la varianza, pero puede ser cualquier otro parámetro.
2. Determinación del tipo de hipótesis. Dependiendo del tipo de problema y de los objetivos de la investigación debe identificarse si la hipótesis será bilateral, unilateral superior o unilateral inferior.
3. Elección de la hipótesis nula y alternativa. Se procederá a plantear y elegir a la hipótesis nula, como ya se estableció anteriormente; si se hace correctamente esto disminuirá la probabilidad de cometer un error.
4. Establecimiento del nivel de significancia y tamaño de muestra. En las pruebas de hipótesis se resalta la probabilidad de α , a lo que también se le denomina nivel de significancia, que como ya se ha establecido anteriormente está muy relacionado con el error de estimación, ε , que bajo prueba de hipótesis se denomina la diferencia a detectar, ya que estos datos son los que pueden ser modificados por el investigador, no así la variabilidad de la población, que es una característica propia de ella.
5. Determinación de la zona crítica o de rechazo. Al llegar a esta etapa se puede determinar la regla de decisión, estableciendo la zona crítica con base en el valor de α y a la distribución muestral del estadístico que se utilizará para llevar a cabo la prueba.
6. Obtención de una muestra probabilística. Como en todas las técnicas de estadística inferencial, una de las condiciones para que las conclusiones sean válidas al nivel de precisión estadística que se estableció, es que los datos se obtengan aleatoriamente. La técnica de muestreo probabilístico que se utilizará, en una prueba en particular, depende de las características de la población que se esté analizando, de los recursos técnicos y económicos con los que se cuente y sobre todo de la experiencia del responsable de la realización del trabajo. Lo adecuado de la técnica seleccionada, del número y calidad de

los datos, así como de la experiencia de los involucrados, serán los factores que permitan tener éxito en su realización.

7. Cálculo del estadístico de prueba. Con los datos muestrales obtenidos se llevará a cabo el cálculo del estadístico de prueba, conforme lo establezca la prueba de hipótesis utilizada.
8. Comparar el estadístico de prueba contra la zona crítica. A partir del resultado anterior se verifica si se cumple la regla de decisión, de ser así se dirá: “Con base en la evidencia muestral, se rechaza H_0 ”, si no se cumple la declaración sería: “Con base en la evidencia muestral, no se rechaza H_0 ”.
9. Interpretar los resultados. Finalmente debe llevarse a cabo la interpretación de los resultados en términos del problema.

2.6 Kanban

La expresión *Kanban*, que en japonés significa “tarjeta” o “registro visible”, hace referencia a las tarjetas que se usan para controlar el flujo de la producción en una planta de manufactura. En el sistema *Kanban* más elemental, se coloca una tarjeta en cada contenedor de los elementos producidos, la cual controla la producción y el transporte de las piezas en el sistema de producción mediante su colocación y visualización (Krajewski & Ritzman, 2000).

La idea principal de *Kanban* es permitir a los operadores utilizar señales visuales para determinar cuándo producir, cuándo detenerse o, inclusive, cuándo realizar cambios de formato. A los gerentes o supervisores, el sistema *Kanban* les permite supervisar el estatus del sistema de producción de forma visual.

El sistema *Kanban* es un sistema sencillo y fácil de implementar, que también puede ser muy eficaz para controlar los costos de inventario y descubrir los cuellos de botella en la producción. Lo anterior se debe a que el inventario llega a los clientes en la línea de producción sólo cuando es necesario y por lo tanto no se acumula de manera innecesaria; situación que estorbaría a la operación cotidiana de la línea de producción o incrementaría los gastos por inventario innecesario.

La idea principal de la aplicación de *Kanban* es la implementación de un flujo *pull* entre dos procesos por medio de un *Stock* controlado y limitado, frecuentemente conocido como supermercado *Kanban*, haciendo referencia a la forma en la que se hace el suministro a los clientes y el correspondiente reaprovisionamiento en los típicos supermercados.

2.6.1 Sistema push o sistema pull

Un sistema de empuje (*push*) no es más que un sistema basado en un programa, es decir, se elabora un programa para periodos múltiples de demanda futuras de los productos de la compañía (llamado programa maestro de producción) y la computadora divide ese programa en otros programas detallados para fabricar o comprar las partes componentes.

Es un sistema de empuje porque el programa empuja al personal de producción para que haga las partes requeridas, y luego empuje esas partes hacia afuera y adelante. Un sistema que funciona mediante el sistema *push* es el de planeación de los requerimientos de materiales (MRP de las siglas en inglés de *Material Requirement Planning*).

Un sistema casual de extracción, que se da hoy en día a pesar de que ya existen computadoras capaces de llevar a cabo toda esa planeación y programación, funciona de la siguiente manera (Schonberger & Calvet Pérez, 1988):

- Los clientes hacen sus pedidos.
- El departamento de fabricación verifica si dispone de las partes en cuestión.
- El departamento de fabricación fabrica, o acelera, las que no se encuentran disponibles.

En este sistema de extracción casual, generalmente existen piezas faltantes, lo cual causa trastorno al departamento de fabricación, por el aceleramiento y, espera a los clientes.

Con base en esto, el programa de empuje MRP, parece ser un buen procedimiento administrativo sí se le compara con el de extraer y acelerar. El punto débil del MRP es que tiene algo de conjetura: se debe suponer cuál es la demanda del cliente, a fin de elaborar el programa y, se debe suponer el tiempo que tardara el departamento de fabricación para hacer las partes que se

necesitan. El sistema permite hacer correcciones diariamente (a esto se le llama control de talleres), sin embargo, las suposiciones equivocadas dan lugar a exceso de inventario en algunas partes, aunque no tanto inventario total como el sistema casual de extraer y acelerar.

Así, los sistemas de extracción (*pull*) parecía que serían eliminados paulatinamente por la MRP basada en la computadora, incluso en las empresas pequeñas, debido a la accesibilidad de las computadoras, pero el sistema *Kanban* de Toyota desvirtuó esa predicción.

Kanban proporciona las partes cuando se necesita, sólo que sin conjeturas y por lo tanto sin el exceso de inventario que resulta de las suposiciones erróneas. Pero *Kanban* tiene una limitante: sólo funciona bien, en general, bajo el contexto JIT (de las siglas de *just in time*) y, en particular, de la característica JIT de reducción del tiempo de preparación y del tamaño del lote. Un sistema JIT puede tener éxito sin un subsistema *Kanban*, pero el *Kanban* no tiene sentido si no hay JIT (Schonberger & Calvet Pérez, 1988).

2.6.2 Funcionamiento del sistema Kanban de Toyota

Kanban es el tipo de sistema de jalar (*pull*) más ampliamente conocido. Un sistema de jalar *Kanban* fue referido como el sistema de producción Toyota (sistema JIT usando un sistema de jalar *Kanban*). También, erróneamente, se ha dicho que JIT es igual a *Kanban* o, se menciona que *Kanban* es un sistema de control de inventarios (Suzaki, 1987). En el ambiente del sistema Toyota, cada tipo de parte, o número de parte, tiene su propio contenedor especial destinado a contener una cantidad precisa del número de parte, preferiblemente una cantidad muy pequeña. Hay dos tarjetas (que se les llamará *Kanban*) por cada contenedor: una *Kanban* de producción y una de traspaso. La *Kanban* de producción (*Kanban P*; P de la sigla en inglés *production*) sirve al centro de trabajo que produce el número de parte. La *Kanban* de traspaso (*Kanban C*; C de la sigla en inglés *conveyance*: transporte) sirve al centro de trabajo usuario de la parte.

Con respecto a los recipientes, éstos siguen un ciclo, desde el centro de trabajo productor, y su punto de abastecimiento, hasta el centro de trabajo usuario, y su punto de abastecimiento, para después regresar. Una *Kanban* se cambia por otra en el trayecto.

Las *Kanban*, que identifican el número de parte, la capacidad del recipiente y alguna otra información, son usadas para controlar completamente el trabajo en proceso (WIP de las siglas de *work in progress*) entre cada par de estaciones de trabajo. El WIP total del sistema está limitado por la suma del número de las *Kanban* dentro del sistema de trabajo.

Hay muchas variantes del sistema *Kanban*, una variante muy publicitada es el sistema dual de tarjetas. La Figura 2. 7 ilustra el sistema *Kanban* de Toyota de dos tarjetas (Schonberger & Calvet Pérez, 1988). En esta figura la producción ocurre en una estación solamente si la materia prima está disponible y el material tiene un *Kanban P* que autoriza la producción. El material es jalado a través del sistema únicamente cuando éste recibe una *Kanban C* de autorización para moverse. La Figura 2. 7 muestra unos números dentro de ella, con los cuales se puede describir que:

1. Comienza en el punto de abastecimiento M con un *Kanban* de traspaso lleno, el cual pasa a una caja de traspaso para recoger *Kanban*.
2. Éste *Kanban*, al ser recogido, se vuelve un *Kanban* de traspaso vacío.
3. Pasa al punto de abastecimiento L, donde se convierte en un *Kanban* de traspaso lleno.
4. Este *Kanban* de traspaso lleno, pasa a una caja de producción para recoger *Kanban* y éste se dirigirá a la caja del centro de trabajo del centro de fresado.
5. De la caja del centro de trabajo se retira un *Kanban* de producción lleno y regresa al punto de abastecimiento L.
6. Un *Kanban* vacío sale del punto de abastecimiento L y regresa al centro de fresado.

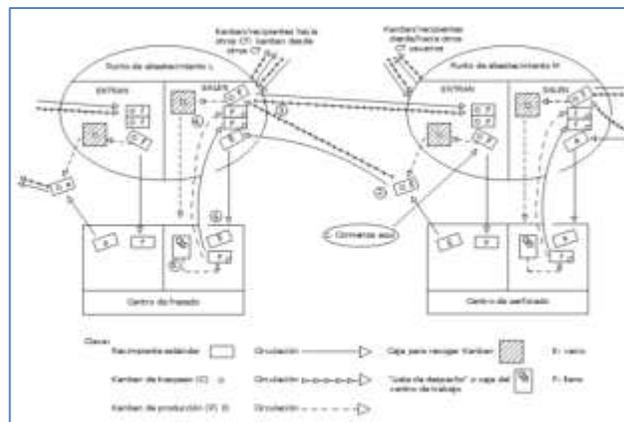


Figura 2. 7 Circulación Kanban (Schonberger & Calvet Pérez, 1988).

2.6.3 Reglas del sistema Kanban

La simplicidad y la eficacia del sistema *Kanban* se basa en las siguientes reglas (Schonberger & Calvet Pérez, 1988):

- No se debe realizar ninguna parte a menos que exista una *Kanban P* que lo autorice. En un sistema de extracción puro los trabajadores se pueden dedicar al mantenimiento o a trabajar en proyectos de mejoramiento cuando no haya una *Kanban P* en las cajas de despacho.
- El material es jalado a través del sistema únicamente cuando éste recibe una *Kanban C* de autorización para moverse. Hay exactamente una *Kanban C* y una tarjeta *Kanban P* por cada contenedor. El número de contenedores (con *Kanban*) es una decisión administrativa.
- Sólo se pueden usar contenedores estándar y éstos deben estar siempre llenos con la cantidad prescrita (pequeña), ni más, ni menos.

2.6.4 Tipos de Kanban

En las tarjetas *Kanban* se anotan los datos que identifican el suministro solicitado (pieza, código, cantidad de lotes, tamaño de lote, centro que lo solicita, centro al que va destinado, etc.). Las tarjetas se adjuntan a los contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta, y la cantidad que refleja la misma es la que debe contener el envase o contenedor. Para cumplir con este fin existen dos tipos de tarjeta (Cuatrecasas Arbós, 2012):

- *Kanban* de producción (P): se utiliza para solicitar la producción de un lote de producto solicitado por el proceso siguiente, en substitución de otro producto ya acabado. El *Kanban* de producción indica la cantidad a elaborarse en el proceso anterior.
- *Kanban* de transporte (C): se utiliza para solicitar la retirada de un lote, envase o contenedor de producto acabado en un proceso anterior para llevarlo al siguiente o a un almacén. El *Kanban* de transporte indica la cantidad a enviar al proceso siguiente.

2.6.5 Metodología propuesta para Kanban

Para muchos, quizás la mayoría de los sistemas Kanban, los pasos no requieren tanto detalle, formalidad y rigor como se muestra en los ejemplos; muchas veces una conjetura educada es bastante adecuada. Pero, la parte educada de la suposición requiere que sepa qué está tratando de hacer en ese paso y por qué es importante. Strategos (2018), propone una metodología para un diseño efectivo de Kanban, la cual se resume a continuación:

1. **Analizar productos-volúmenes para el centro de trabajo de *Upstream*.** Los centros de trabajo de *Upstream* pueden producir múltiples productos, a menudo para varios centros de trabajo posteriores. Algunos de estos elementos pueden ser inadecuados para *Kanban* y esto se volverá más claro con el análisis de Producto Volumen. Este es también el momento de garantizar que el centro de trabajo de aguas arriba tenga la capacidad adecuada para producir esta mezcla y volumen de productos.
2. **Analizar los patrones de demanda de *Downstream*.** El objetivo de *Stockpoint* es proteger cualquier diferencia entre la demanda en sentido descendente y la capacidad del centro de trabajo en sentido ascendente para rastrear con precisión esa demanda. Si el centro de trabajo en sentido ascendente puede rastrear exactamente la demanda descendente, no hay ninguna razón para que el sistema *kanban* y el enlace directo (también conocido como FIFO) o un sistema de difusión sean más apropiados para coordinar los dos centros de trabajo. Mientras mayor sea la disparidad entre la demanda en sentido descendente y la capacidad ascendente para suministrarla, mayores serán las existencias de *kanban*.
3. **Identificar productos Kanban.** En el Paso 3, identifique los productos adecuados para *kanban*.
4. **Calcular tamaños de lote.** Los tamaños de lote son importantes tanto para los centros de trabajo ascendentes como descendentes. En general, cuanto menor es el tamaño del lote, menor es el *stock kanban* y mejor funciona el sistema. Los lotes pequeños aguas abajo exigen una gran demanda en el centro de trabajo aguas arriba. Pequeños lotes en sentido ascendente permiten que ese centro de trabajo rastree mejor la demanda en sentido descendente.

5. **Identificar contenedores.** Los contenedores no siempre se usan en sistemas *Kanban*, pero ofrecen muchas ventajas, especialmente para artículos pequeños.
6. **Identificar mecanismo de señal.** Hay muchas posibilidades para el sistema de señalización que informa al centro de trabajo aguas arriba del estado del stock y los retiros. Una de las mejores es una señal visual simple.
7. **Especificar cantidades *Kanban* iniciales.** Determinar la mejor cantidad para la cantidad de stock de *Kanban* rara vez es un proceso exacto. Al diseñar el sistema, por supuesto, debemos hacer al menos una conjetura, estimación o suposición fundamentada.
8. **Diseñar puntos de almacenamiento.** La tarea ocho diseña el punto de almacenamiento y este diseño debe especificar ubicación, dibujo de diseño físico, etiquetas, cantidades máximas, mecanismos de señal, etc.
9. **Desarrollar Algoritmo de Programación Upstream.** Diseñar el sistema inicial y brindar a los operadores un punto de partida para el desarrollo futuro.
10. **Operar y afinar.** La prueba real del diseño es la operación real en producción. Aquí ajustamos y modificamos el sistema según sea necesario. Tales modificaciones pueden incluir cambios o mejoras en el sistema de señal, contenedores o cualquier otro aspecto del diseño. Sin embargo, los cambios comunes están en la cantidad máxima de *Kanban* y la cantidad de contenedores o tarjetas cuando se usan contenedores o tarjetas.

Con base en la teoría descrita sobre *Kanban* en el capítulo 2, se aplicarán los conceptos para llevar a cabo la implementación de un sistema *Kanban*, el cual se describe en el siguiente capítulo, capítulo 3.

Capítulo 3

Implementación de mejoras

En este capítulo se muestra la aplicación de la metodología utilizada para la realización de la presente tesis. Esta metodología comenzó con el diagnóstico de la empresa y la identificación de áreas de oportunidad para la mejora, posteriormente se determinan los indicadores, la generación de estrategias de mejora, el diseño del sistema *Kanban* y su implementación. Como parte final se realiza una evaluación del desempeño de la empresa con lo implementado y la determinación de las actividades de seguimiento para el proyecto.

3.1 Metodología

Para el cumplimiento del objetivo de diseñar e implementar un sistema *Kanban*, del presente proyecto de tesis, fue necesario desarrollar la siguiente metodología:

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa [REDACTED].
2. Crear mapa de la cadena de valor de estado presente, de las referencias a trabajar.
3. Diseñar un sistema Kanban que se ajuste a las necesidades de la línea.
4. Implementar un sistema Kanban en [REDACTED].
5. Comparar los indicadores antes y después de la implementación.
6. Aplicar prueba de hipótesis.

3.2 Diagnóstico

En esta sección se describe el proceso de diagnóstico de la empresa [REDACTED], en la que desarrolló el presente proyecto de tesis.

Para obtener el diagnóstico de la empresa [REDACTED] se realizaron las siguientes actividades:

1. Recorrido por toda la planta.
2. Entrevista con el personal.
3. Reunión con el gerente de planta de la empresa [REDACTED].
4. Análisis del diagnóstico.

3.2.1 Recorrido por toda la planta de producción

Para conocer la estructura y el funcionamiento general, de la empresa [REDACTED], se realizaron recorridos por las tres líneas que comprenden toda la planta de producción: [REDACTED]

En los recorridos, que fueron guiados por el Coordinador *Lean* de la empresa, se explicó cada proceso que se realiza en la planta de producción. Es importante mencionar las siguientes situaciones de oportunidad que se detectaron en las tres líneas:

- a) Acumulación de inventario en proceso.
- b) Reprocesos de material.
- c) Paros no programados.
- d) Tiempos perdidos en abastecer su proceso.

3.2.2 Entrevista con el personal

Para conocer más sobre los procesos que se llevan a cabo en la planta de producción y para identificar áreas de oportunidad en los puestos de trabajo, se llevaron a cabo recorridos alrededor de la planta con el objetivo de entrevistar a una parte del personal de las líneas.

Las entrevistas con operadores de las líneas se realizaron en 2 días, debido al tiempo de recopilación de las respuestas, para obtener un mejor panorama de la situación que se atraviesa en la empresa.

Para realizar las entrevistas se realizó un cuestionario, simple y rápido de responder. Dicho cuestionario contempla las siguientes preguntas:

1. ¿Qué actividades realiza en su puesto de trabajo?
2. ¿Qué actividades de su puesto de trabajo le generan mayor dificultad?
3. ¿Cuál es el problema más frecuente en su puesto de trabajo?
4. ¿Qué actividad considera que le genera mayor pérdida de tiempo en su puesto de trabajo?
5. ¿Qué oportunidades de mejora podría proponer para su puesto y área de trabajo?

Del análisis de las entrevistas con el personal se realizó el siguiente resumen de los problemas detectados y las mejoras sugeridas en cada uno de los puestos de trabajo:

- **Prensa:**

- Las actividades problemáticas, que generan mayor pérdida de tiempo, en el puesto de trabajo prensa, fueron las siguientes:
 - El cambio de troquel.
 - Los paros por ruptura de troquel.
 - Ir por material para trabajar.
- Las mejoras sugeridas fueron las siguientes:
 - Colocación de una rampa para su material de salida.
 - Asignación de una persona encargada del retiro de residuos de cajas de cartón.

- **Pulido:**

- La actividad problemática, que se presenta de manera frecuente, en el puesto de trabajo pulido, fue la siguiente:
 - La acumulación de material, el operador consideró que la acumulación de material en su puesto de trabajo se da porque el proceso previo, prensado, es más rápido que pulido.
- La mejora sugerida fue la siguiente:
 - El reabastecimiento de material que se deba ser pulido, para evitar perder tiempo en su búsqueda.

- **Off line:**

- La actividad problemática, que se presenta de manera frecuente, en el puesto de trabajo *off line* es la siguiente:
 - Los paros no programados.
- La causa se presenta por alguno de los siguientes casos:
 - Cuando existe obstrucción de residuos de material en las mangueras de desagüe de la máquina.
 - Cuando un cortador de la máquina se desajusta y se tiene que volver a reajustar.

- ***Crush and broach:***
 - Los problemas frecuentes y las consecuencias de éstas, en el puesto de trabajo ***Crush and broach*** son los siguientes:
 - Paros no programado en la *off line*, que es el proceso que alimenta al suyo directamente, lo que ocasiona que su puesto de trabajo se quede sin material para trabajar.
 - Exceso de material esperando ser procesado. Aquí se comentó que no todo el material se procesa el mismo día.
 - La ruptura de la brocha ocupada para el proceso de *broach* causa pérdida de tiempo en la búsqueda de otra brocha y pérdida de material de trabajo, ya que las brochas utilizadas son demasiado costosas.

- ***Flat grind:***
 - Las actividades que causan pérdida de tiempo, en el puesto de trabajo *flat grind* son las siguientes:
 - La búsqueda de material para trabajar.
 - Los reprocesos.
 - Las mejoras propuestas, para el puesto de trabajo son:
 - Colocación de una guarda protectora para la máquina, para evitar que las forjas puedan salir proyectadas y lesionar a alguna persona que se encuentre cerca.
 - Una salida de agua para los aros de tendido.
 - Dar mantenimiento a la maquinaria.
 - Colocación de una lámpara en la máquina para que ellos puedan ajustar su piedra abrasiva con mayor rapidez y correctamente.

- ***Clip/pin:***
 - Una de las actividades que genera mayor pérdida de tiempo en el puesto Clip/pin:
 - La búsqueda de material para trabajar.
 - Las aportaciones de mejora para el puesto de trabajo son:
 - La colocación de una lámpara en la máquina de pin, para un mayor grado de iluminación que le permita ver mejor la colocación de la forja.
 - La colocación de unos contenedores para los pines y trapos que se utilizan en el puesto de trabajo.

- **Bevel & Sharpen:**
 - Aquí se determinó que sólo dos referencias pasan por este proceso.
 - Que los operadores están cómodos en su puesto de trabajo
 - Que la única sugerencia de mejora es que alguien pudiera traerles el material con el que van a trabajar.
- **Preensamble:**
 - Los problemas más comunes en el puesto de trabajo ensamblen son:
 - Los cambios de rejilla dependiendo de la referencia que se producirá.
 - El ajuste que se realiza posterior a la colocación de tijeras en la rejilla, el operador se agacha para enderezar las tijeras cada que coloca un lote.
 - La sugerencia de mejora para el puesto de trabajo fue la siguiente:
 - que alguna persona pueda traerle el material.
- **Ajuste:**
 - Aquí se determinó que el puesto de trabajo ajuste se divide en dos partes:
 - Atornillado.
 - Inspección y ajuste de los mangos.
 - Que el problema más usual al que se enfrentan es:
 - La colocación errónea del tornillo en el proceso de preensamble, lo que provoca un retrabajo para ajuste.
 - Los operadores no mencionaron ninguna mejora.
- **Empaque:**
 - Aquí se determinó que el puesto de empaque se encuentran dos operadoras.
 - Que en este puesto de trabajo se realiza la inspección final a las tijeras, se quitan asperezas, se limpian las tijeras, se coloca la caja individual y se guardan en un lote de 6 tijeras, para posteriormente colocarlas en una tarima.
 - Las operadoras no mencionaron dificultades y mejoras en su puesto de trabajo.

3.2.3 Reunión con el gerente de planta de la empresa [REDACTED]

Se llevó a cabo una reunión con el gerente de planta, de la empresa [REDACTED], con el fin de comprender y analizar las necesidades de la planta. En esta reunión se obtuvo lo siguiente:

- Los principios de la empresa Manufacturera [REDACTED] [REDACTED].
- Las filosofías, técnicas y herramientas que la empresa aplica para mejorar su planta. Aquí, se mencionó que la filosofía *Lean* se ha trabajado en la planta para la mejora de sus procesos.
- Que hay demasiado material en proceso en toda la planta.
- Que los operadores pierden tiempo en abastecer su área de trabajo, lo que perjudica la producción diaria de todas las líneas de la planta.
- Que [REDACTED] es la línea de mayor volumen de producción y en la que recientemente se han hecho modificaciones para la mejora de sus procesos.
- Que se desea mejorar [REDACTED].

El gerente de planta también externó las siguientes acciones para eliminar el material en proceso y mejorar [REDACTED]:

- Diseñar un sistema *Kanban* que se ajuste a [REDACTED].
- Implementar el sistema *Kanban* en [REDACTED].

3.2.4 Análisis del diagnóstico

Con base en el recorrido por toda la planta de producción, las entrevistas con el personal y la reunión con el gerente de planta de la empresa [REDACTED] se determinó que la línea de producción piloto, para el desarrollo del presente proyecto, sea [REDACTED], que es la línea de mayor volumen en la planta de producción.

3.3 Creación del mapa de la cadena de valor de estado presente

Para la creación de mapa de la cadena de valor, se realizaron los siguientes pasos:

1. Análisis de productos-volúmenes de la línea de producción.
2. Conclusiones del análisis del análisis de productos-volúmenes de la línea de producción.
3. Desarrollo del mapeo de la cadena de valor actual de las referencias claves.

3.3.1 Análisis de productos-volúmenes de la línea de [REDACTED]

Para realizar el análisis de los productos-volúmenes, de [REDACTED], se analizó el archivo llamado *summary*, donde ingenieros de la empresa recaudan volúmenes de producción de cada referencia; este archivo es actualizado mensualmente. Actualmente, en el archivo se maneja un pronóstico y producción real para cada referencia por año (Tabla 3. 1).

Para realizar el análisis de productos-volúmenes, de la línea de [REDACTED], se decidió analizar los datos de 4 años consecutivos: 2017-2020. Para esto, se concentraron los datos de producción de las referencias fabricadas y se comparó la producción de todas las referencias. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3. 2

Para comparar visualmente la producción real realizada, en cada referencia fabricada, de los años 2017 a 2020, se realizaron gráficas de líneas (Figura 3. 1a - Figura 3. 1d) con los datos de la Tabla 3.2.

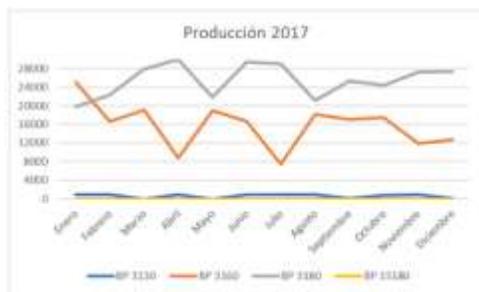
Tabla 3. 1 Vista del Summary (Autoría [REDACTED]).

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet. The top part of the spreadsheet contains a grid of data for months from ENERO to SEPTIEMBRE. The columns are labeled with months, and the rows are labeled with 'BUDGET' and 'ACTUAL' for each year from 2017 to 2020. The data is organized into a grid where each cell contains a value. The spreadsheet also includes a 'WORK DAYS' section at the top and a 'VACATION DAYS' section below it. The bottom part of the spreadsheet shows a summary section with rows for 'SUBTOTAL BP LINE', 'Cumplimiento mes', 'TOTAL YTD BP', and 'Cumplimiento YTD BP'. Red arrows point to specific data points in the grid, labeled 'Referencias', 'Producción actual', and 'Pronóstico'.

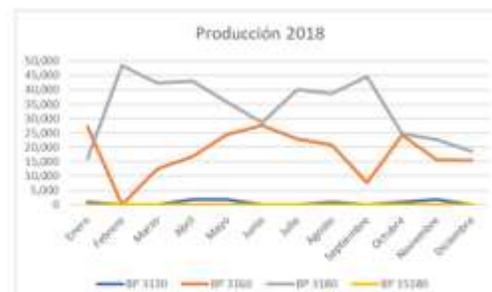
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Smoothed Budget 2017 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2017 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2017 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2017 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2017 / ACTUAL	BUDGET / VCORP
Smoothed Budget 2018 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2018 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2018 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2018 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2018 / ACTUAL	BUDGET / VCORP
Smoothed Budget 2019 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2019 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2019 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2019 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2019 / ACTUAL	BUDGET / VCORP
Smoothed Budget 2020 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2020 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2020 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2020 / ACTUAL	BUDGET / VCORP	Smoothed Budget 2020 / ACTUAL	BUDGET / VCORP

Tabla 3. 2 Unidades producidas del año 2017 al 2020 (Autoría propia).

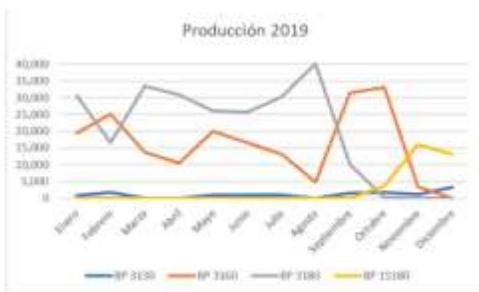
Mes	2017				2018				2019				2020			
	Referencias				Referencias				Referencias				Referencias			
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ene	978	25,152	19,782	0	900	27,216	16,086	0	900	19,412	30,600	0	6,684	0	31,140	0
Feb	882	16,734	22,446	0	0	0	48,432	0	1,722	25,188	16,570	0	19,626	3,990	12,900	0
Mar	0	19,056	27,968	0	0	12,457	42,285	0	0	13,674	33,522	0	19,752	26,118	2,154	0
Abr	870	8,796	29,962	0	1,800	16,818	42,976	0	0	10,536	30,858	0	12,648	8,232	16,986	0
May	0	18,996	21,846	0	1,800	24,400	35,742	0	1,080	19,980	26,058	0	24,102	28,056	0	0
Jun	888	16,686	29,436	0	0	27,538	28,550	0	984	16,512	25,656	0	23,706	23,568	1,302	1,590
Jul	870	7,452	28,996	0	0	22,860	40,118	0	984	13,272	30,372	0	32,244	15,552	924	0
Ago	900	18,192	21,176	0	900	20,884	38,638	0	0	4,806	40,218	0	25,692	28,026	5,316	1,680
Sep	114	17,064	25,362	0	0	7,716	44,680	0	1,590	31,368	10,170	0	22,704	21,100	22,572	0
Oct	786	17,508	24,474	0	900	24,258	24,678	0	1,704	33,210	318	3,600	35,928	36,272	8,904	0
Nov	900	11,862	27,264	0	1,872	15,682	22,722	0	1,248	3,500	0	16,000	30,276	35,868	4,260	3,198
Dic	72	12,678	27,468	0	0	15,486	18,528	0	3,276	0	0	13,254	32,430	36,324	5,112	1,530
Total	7,260	190,176	306,180	0	8,172	215,315	403,435	0	13,488	191,458	244,342	32,854	285,792	263,106	111,570	7,998



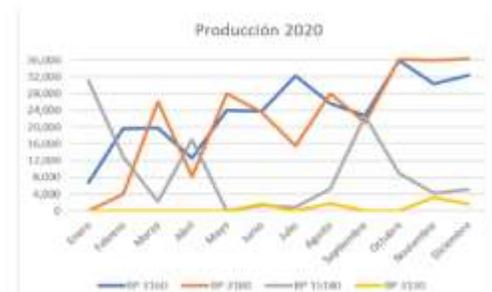
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. 1 Producción real de la línea de [REDACTED]: a) año 2017, b) año 2018, c) año 2019, d) año 2020.

Con ayuda de las gráficas, de la [REDACTED], se identificó que la referencia con mayor producción de cada año: 2017 a 2020; es la referencia [REDACTED]. La segunda referencia con mayor volumen es la referencia [REDACTED].

Para visualizar que porcentaje de la producción corresponde a la referencia [REDACTED] y [REDACTED] en cada año, se realizaron los diagramas de Pareto (Figura 3. 2a - Figura 3. 2d). Con estos diagramas se observó que las referencias [REDACTED] y [REDACTED] tienen el 98% de producción en los 4 años analizados.

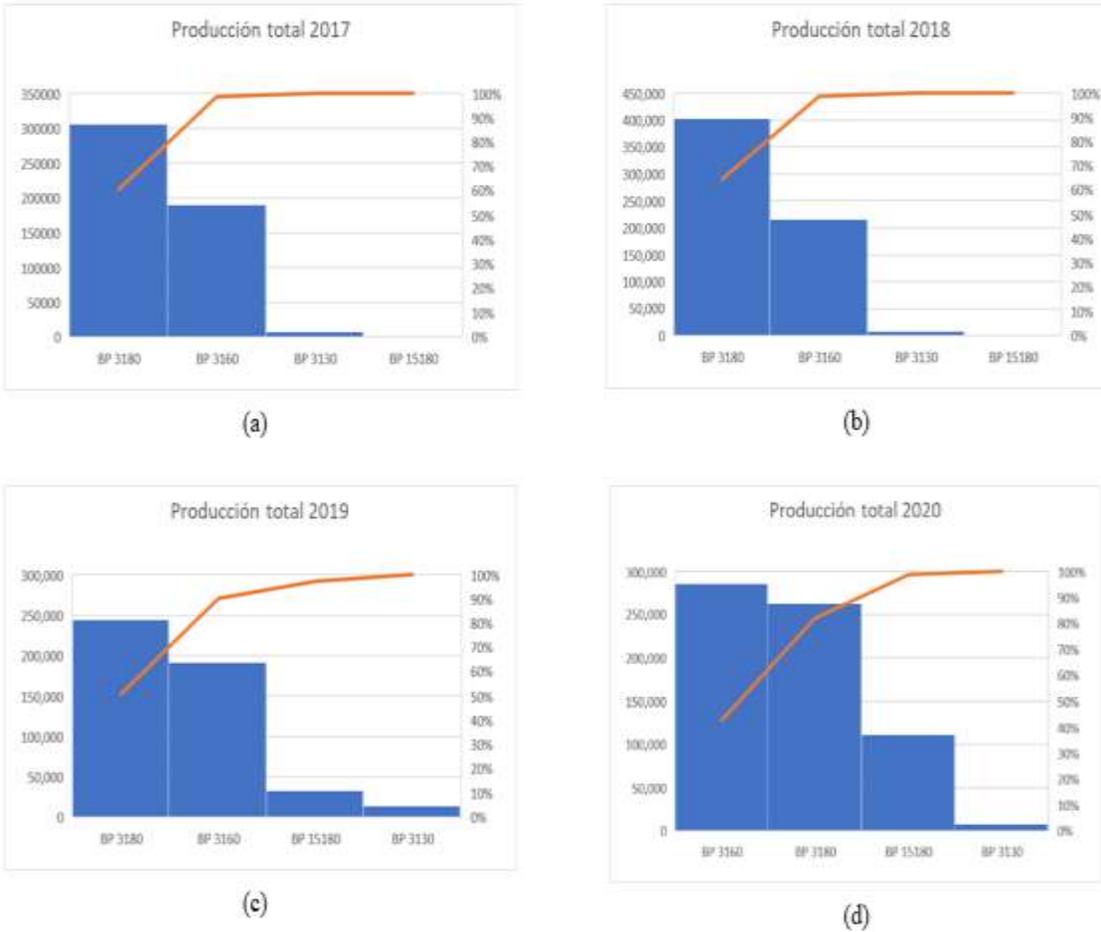


Figura 3. 2 Diagramas de Pareto de la producción total de [REDACTED]: a) año 2017, b) año 2018, c) año 2019, d) año 2020 (Autoría propia).

3.3.2 Conclusiones del análisis de productos-volúmenes de la línea de producción

Con base en el análisis de productos-volúmenes de la línea de [REDACTED], se determinó que las referencias piloto, para el desarrollo del presente proyecto, serán las 2 referencias de mayor volumen:

- [REDACTED].
- [REDACTED].

3.3.3 Desarrollo del mapeo de la cadena de valor actual de las referencias clave

Una vez determinada la línea de producción con la que se trabajará: [REDACTED]; y las referencias en las que se enfocará el proyecto: [REDACTED] y [REDACTED]; se identificaron áreas de oportunidad, donde la implementación de técnicas de ingeniería industrial pudiera proporcionar un mayor beneficio en la producción de las referencias seleccionadas, mediante la realización de un mapeo de la cadena de valor (VSM).

El procedimiento usado para la elaboración de este mapa de la cadena de valor fue el siguiente:

- Crear equipo de trabajo para elaborar VSM.
- Realizar reuniones y pláticas con el equipo de trabajo.
- Seleccionar los procesos a mapear en el VSM.
- Seleccionar y calcular indicadores.
- Elaborar mapa del estado presente de la cadena de valor.

3.3.3.1 Creación del equipo de trabajo para elaborar VSM

Lo primero que se realizó para la elaboración del mapeo de la cadena de valor, fue formar un equipo, el equipo se conformó considerando los tres factores siguientes que el gerente de planta consideró oportunos:

- El conocimiento en el área.
- La experiencia.
- El apoyo que se requería.

El equipo seleccionado, para la elaboración del mapeo de la cadena de valor, fue conformado por cuatro personas, las cuales tuvieron las siguientes funciones dentro del equipo:

- Coordinadora *lean*: encargada de revisiones y seguimiento.
- Ingeniero del departamento de ingeniería: encargado de revisiones y seguimiento.
- Practicante de la coordinación *lean*: apoyo en toma de tiempos.
- Tesista encargada del proyecto: toma de tiempos, realización de VSM.

3.3.3.2 Realización de reunión y pláticas con el equipo de trabajo

Para la elaboración del mapeo de la cadena de valor se realizaron reuniones y pláticas con el equipo de trabajo; en las reuniones se abordaron los siguientes temas para la elaboración del VSM de la línea:

- Seleccionar procesos de la línea a medir.
- Determinar los días de toma de tiempos.
- Determinar el procedimiento a utilizar para la toma de tiempos.
- Determinar indicadores para la elaboración del VSM.

3.3.3.3 Selección de los procesos a mapear en el VSM

Una vez acordados con el equipo de trabajo, los detalles para la elaboración del VSM se realizaron diagramas para ilustrar los procesos que se llevan a cabo para la producción de la referencia [REDACTED] (Figura 3.3) y Figura 3.3 Proceso de producción para la referencia [REDACTED] [REDACTED] (Figura 3. 4). En estos diagramas se observó que [REDACTED] sigue diferentes procesos para la formación de cada referencia, pero, también que hay procesos compartidos

Una vez realizados los diagramas se determinó que los procesos a mapear son los siguientes:

- Prensa.
- Pulido.
- *Off line*.

- *Crush & Broach.*
- Tratamiento térmico. (HT).
- Abrillantado.
- *Flat grind.*
- Clip.
- Pin.
- *Bevel & Sharpen.*
- Preensamble.
- Plastisol.
- Ajuste.
- Empaque.

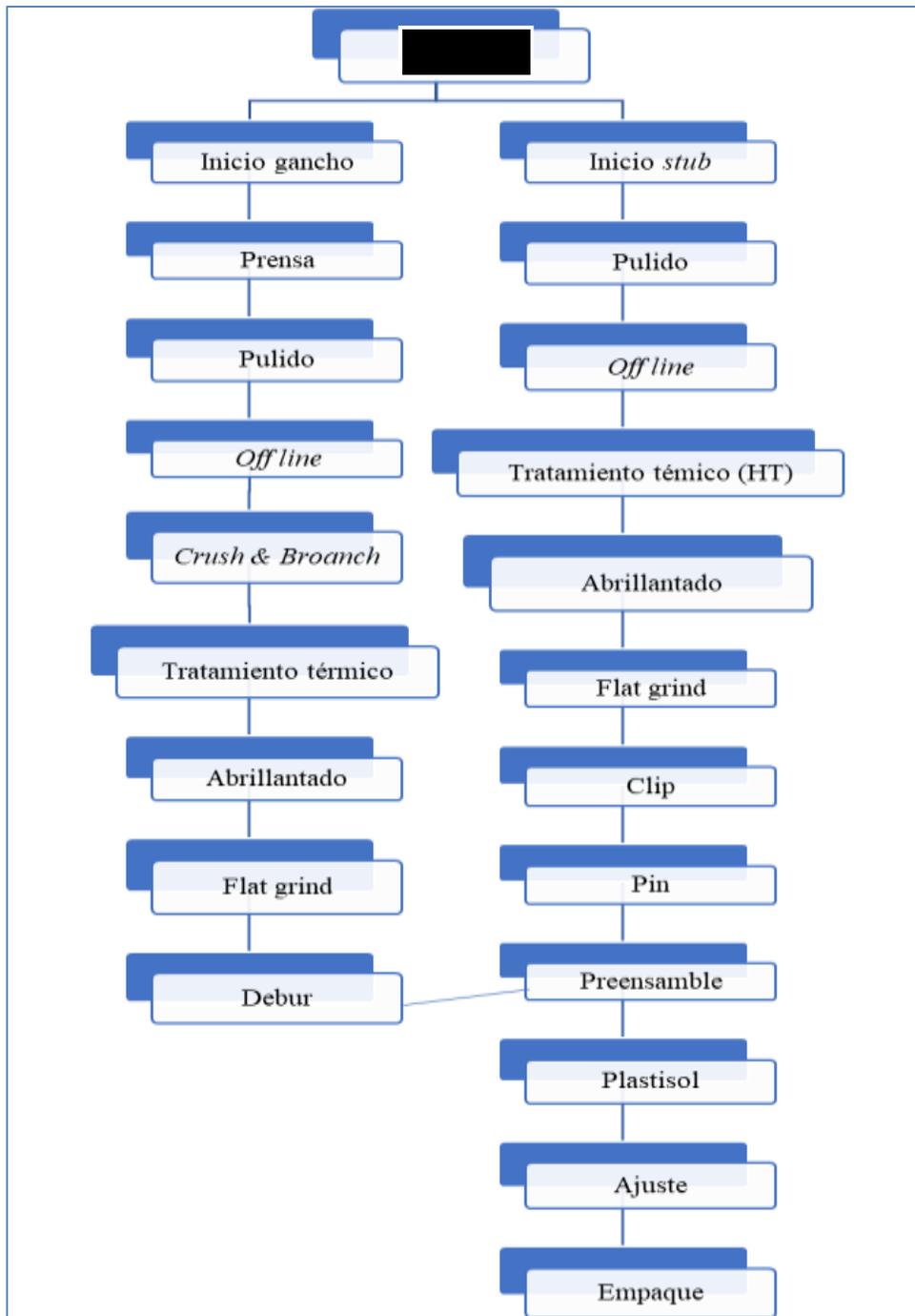


Figura 3.3 Proceso de producción para la referencia [redacted] (Autoría propia).

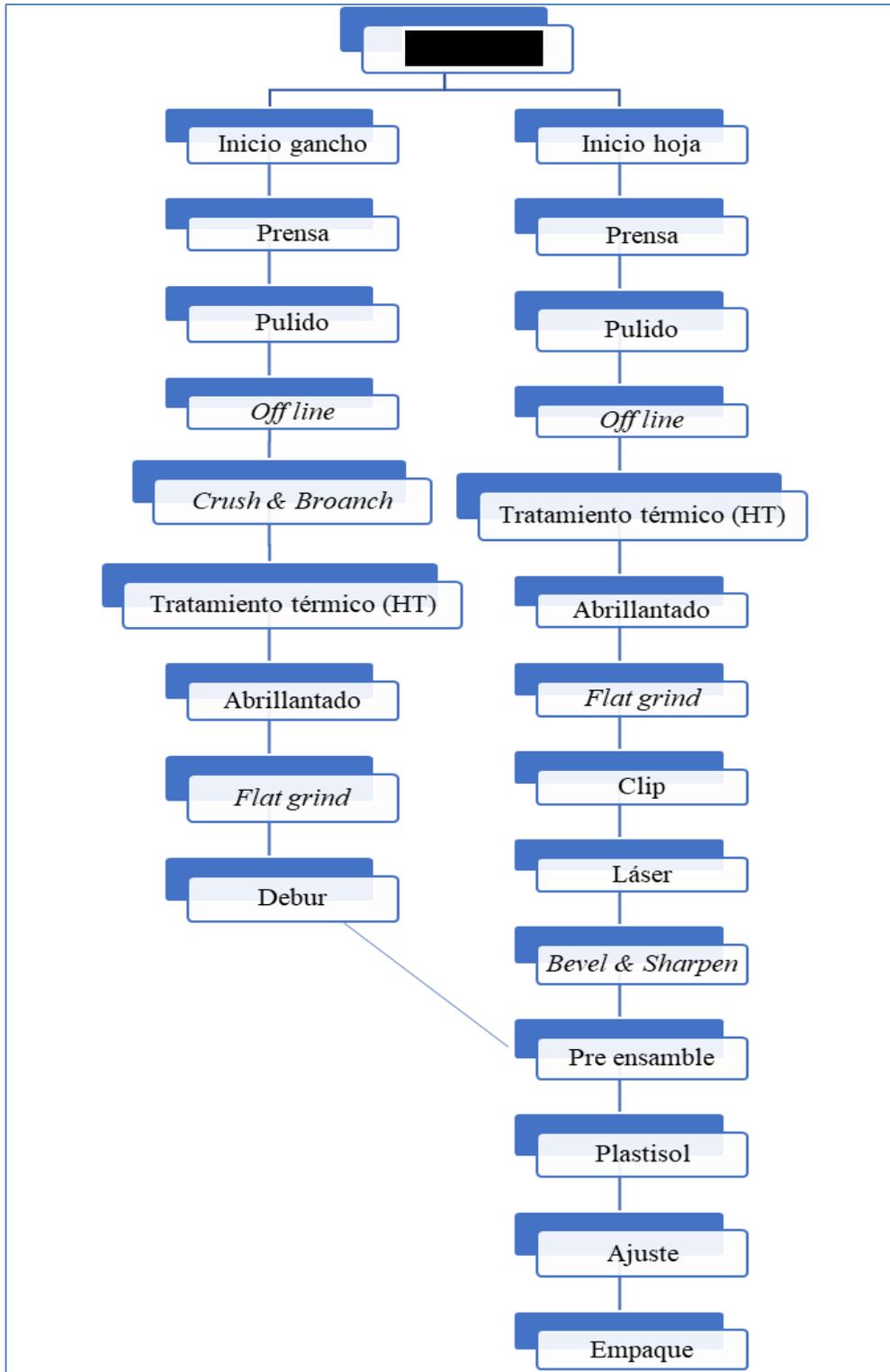


Figura 3. 4 Proceso de producción para la referencia [redacted] (Autoría propia).

3.3.3.4 Selección y cálculo de indicadores

Los indicadores clave a considerar para la evaluación de la línea de [REDACTED], y que se mostraran en el VSM, fueron los siguientes:

1. Inventario en proceso (Δ). Dado que en los objetivos específicos del proyecto se considera la minimización del inventario en proceso, es de suma importancia considerar este indicador como un punto clave del éxito del proyecto. Este indicador estará señalado en el VSM por un triángulo, el cual, dará a conocer el inventario de los diferentes procesos de la línea de [REDACTED], que se encontraban al momento de la medición.
2. Tiempo de ciclo (TC). Un factor muy importante para la empresa es que el tiempo de ciclo se cumpla de acuerdo con lo establecido con los *rates* (tiempos estándar de producción) de producción. Este indicador será dado a conocer con las letras TC y hará referencia al tiempo que toma procesar una pieza y empieza con la siguiente.
3. Tiempo que no agrega valor al producto (NAV). Para la empresa es de vital importancia la reducción del tiempo que no agrega valor al producto, ya que existen actividades que los operadores realizan y que no se consideran como valor agregado, es decir son una pérdida de tiempo. Este indicador se calculó tomando tiempos en los procesos seleccionados de las actividades que no agregan valor al producto, tomando un total de 15 tiempos para cada proceso.
4. Tiempo que agrega valor al producto (AV). Un indicador que da una perspectiva del bienestar de la línea es el tiempo que agrega valor al producto, por lo que se tomó en cuenta para las mediciones de los procesos de las referencias. Para calcular este indicador se tomaron 15 tiempos de cada proceso y se obtuvo el promedio.
5. Número de operadores. El número de operadores es un indicador que fue tomado de la cantidad de personas que se encuentran en cada puesto de trabajo.

En las Tablas 3.3 a 3.6 se muestran los datos promedio de los indicadores, para cada proceso, usados en el mapeo de la cadena de valor del estado presente:

- La Tabla 3. 3 muestra los promedios para la referencia [REDACTED].
- La Tabla 3. 4 muestra los promedios para la referencia [REDACTED].

Para visualizar y entender cómo distribuyen los procesos, en la siguiente sección, que es la 3.3.3.5 Elaboración del mapa de la cadena de valor, se podrá observar el VSM para cada referencia.

Tabla 3. 3 Indicadores de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

Proceso	Indicador				
	Inventario en proceso (Δ) Piezas	Tiempo de ciclo (TC) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (NVA) seg	Tiempo que agrega valor al producto (VA) seg	Número de operadores
Prensa	1500	71.12	64.87	6.25	1
Pulido	3000	320.68	289.26	31.42	3
<i>Off line</i>	1742	195.75	186.1	9.65	1
<i>Crush & Broanch</i>	900	197.50	181.59	15.91	1
Tratamiento térmico (HT)	1440	25.23	0.00	25.23	1
Abrillantado	1440	20.14	0.00	20.14	1
<i>Flat grind</i>	1440	119.38	105.37	14.01	1
<i>Debur</i>	1870	0.56	0.00	0.56	1
Clip	432	77.61	71.57	6.04	1
Pin	600	29.83	14.37	15.46	1
Pre ensamble	1380	41.46	28.44	13.02	1
Plastisol	39	64.38	6.45	57.93	0
Ajuste	50	37.58	24.56	13.02	2
Empaque	75	60.78	33.13	27.65	3

Tabla 3. 4 Indicadores de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

Proceso	Indicador				
	Inventario en proceso (Δ) Piezas	Tiempo de ciclo (TC) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (NAV) seg	Tiempo que agrega valor al producto (AV) seg	Número de operadores seg
Prensa	840	142.24	129.74	12.50	1
Pulido	840	320.68	289.26	31.42	3
<i>Off line</i>	980	195.75	186.10	9.65	1
<i>Crush & Broanch</i>	500	197.5	181.59	15.91	1
Tratamiento térmico (HT)	1440	25.23	0.00	25.23	1
Abrillantado	1440	20.14	0.00	20.14	1
<i>Flat grind</i>	1320	119.38	105.37	14.01	1
Debur	240	0.56	0.00	0.56	1
Láser	180	15.46	0.00	15.46	1
Clip	720	77.61	71.57	6.04	1
Pin	600	29.83	14.37	15.46	1
<i>Bevel & Sharpen</i>	450	76.85	61.39	15.46	1
Pre ensamble	350	41.46	28.44	13.02	1
Plastisol	75	64.38	6.45	57.93	0
Ajuste	75	37.58	24.56	13.02	2
Empaque	480	60.78	33.13	27.65	3

3.3.3.5 Elaboración del mapa de la cadena de valor

Una vez determinado el equipo de trabajo, los temas relevantes en las reuniones con el equipo de trabajo, la selección de los procesos a mapear y cálculo de los indicadores, se realizó el mapa del

estado presente de cada referencia: [REDACTED] y [REDACTED]; realizando los pasos siguientes, los cuales están en la metodología propuesta por Lee & Snyder (2007):

1. Se dibujaron los iconos del cliente, proveedor y el control de producción (Figura 3. 5 para la referencia [REDACTED] y Figura 3. 6 para la referencia [REDACTED]).
2. Se colocó el requerimiento diario basado (Figura 3. 5 para la referencia [REDACTED] y Figura 3. 6 para la referencia [REDACTED]) en el archivo *summary*, descrito en la sección 3.3.1 Análisis de productos-volúmenes de la línea de [REDACTED].
3. Se dibujó el icono de envío entrante y saliente, el medio de transporte utilizado para recibir su materia prima y enviar el producto terminado al cliente (Figura 3. 5 para la referencia [REDACTED] y Figura 3. 6 para la referencia [REDACTED]).



Figura 3. 5 Pasos del 1-3 para la elaboración del VSM: colocación de iconos del cliente, proveedor y producción, requerimiento diario e icono de envío de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).



Figura 3. 6 Pasos del 1-3 para la elaboración del VSM: colocación de iconos del cliente, proveedor y producción, requerimiento diario e icono de envío de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

- Se dibujaron las cajas y los cuadros de datos para cada proceso de producción de cada referencia (Figura 3. 7 para la referencia [REDACTED] y Figura 3. 8 para la referencia [REDACTED]), de izquierda a derecha.
- Se agregaron los indicadores a los cuadros de datos, descritos en la sección 3.3.3.4 Selección y cálculo de indicadores, al igual que se añadieron los símbolos de operadores y números (Figura 3. 7 para la referencia [REDACTED] y Figura 3. 8 para la referencia [REDACTED]).
- Se colocaron las flechas, métodos de comunicación y frecuencias (La Figura 3. 9 para la referencia [REDACTED] y La Figura 3.10 para la referencia [REDACTED]).

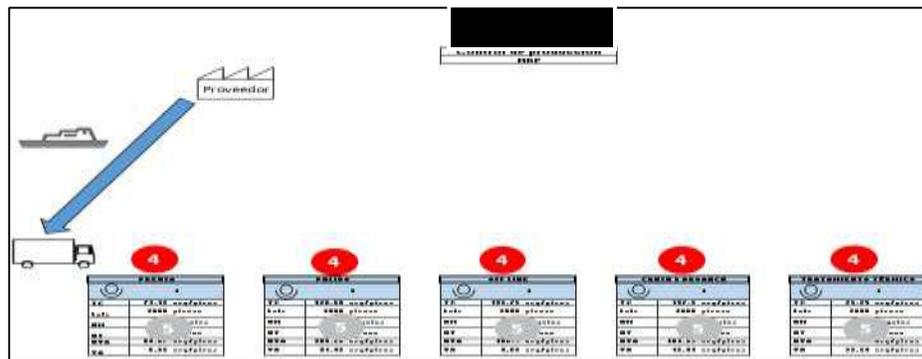


Figura 3. 7 Pasos 4 y 5 para la elaboración del VSM: colocación de cajas, cuadros de datos e indicadores de la referencia [REDACTED] (prensa a tratamiento térmico) (Autoría propia).

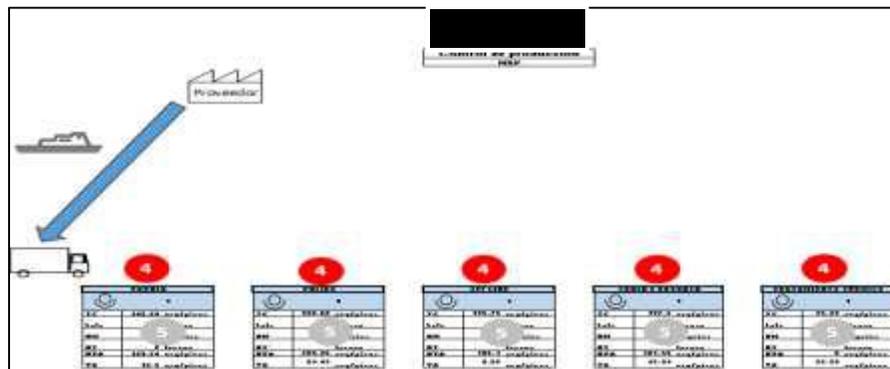


Figura 3. 8 Pasos 4 y 5 para la elaboración del VSM: colocación de cajas, cuadros de datos e indicadores de la referencia [REDACTED] (prensa a tratamiento térmico) (Autoría propia).

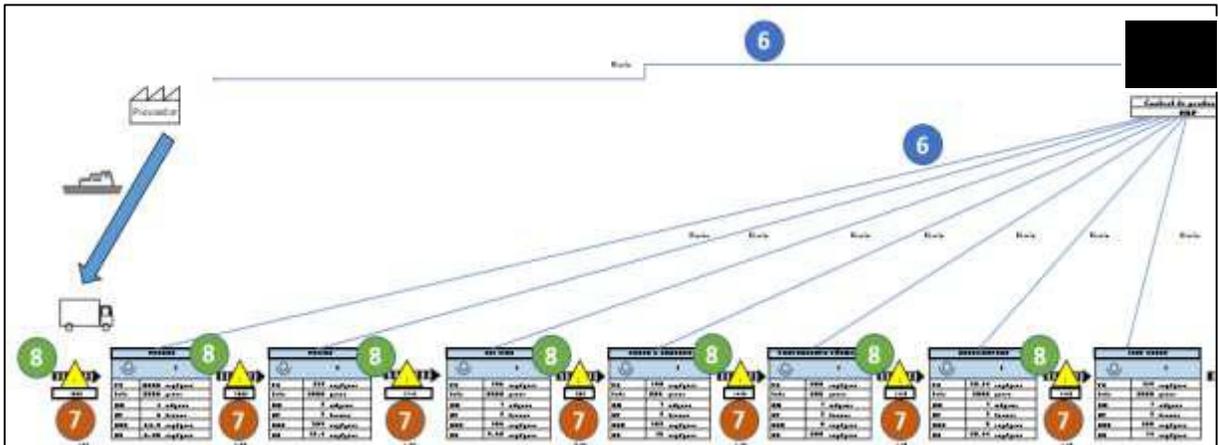


Figura 3. 9 Pasos del 6-8 para la elaboración del VSM: colocación de flechas, métodos de comunicación, frecuencia, inventarios y flechas de flujo del proceso de la referencia [REDACTED] (prensa-flat grind)(Autoría propia)

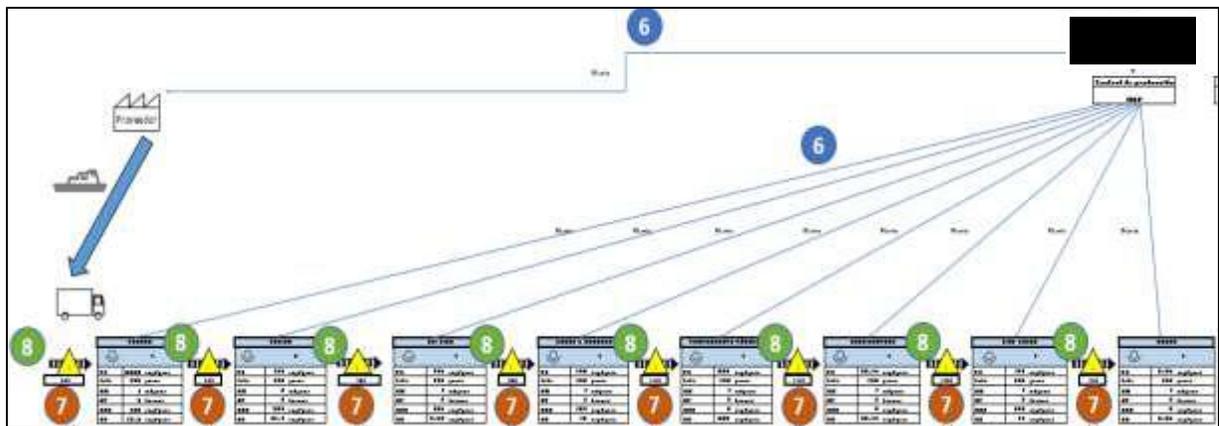


Figura 3.10 Pasos del 6-8 para la elaboración del VSM: colocación de flechas, métodos de comunicación, frecuencia, inventarios y flechas de flujo del proceso de la referencia [REDACTED] (prensa-debur) (Autoría propia).

8. Se añadieron los iconos de inventario, así como las ubicaciones y niveles en las unidades de producción que fueron encontrados al momento de la medición (La Figura 3. 11 para la referencia [REDACTED] y La Figura 3. 12 para la referencia [REDACTED]).
9. Se agregaron las flechas del flujo del proceso, el cual sigue un sistema *push* (La Figura 3. 11 para la referencia [REDACTED] y La Figura 3. 12 para la referencia [REDACTED]).

10. Se dibujaron dos líneas de tiempo debajo de las cajas de datos de los procesos (para la referencia [REDACTED] se muestra en la Figura 3. 11 y para la referencia [REDACTED], la Figura 3. 12).

- En la primera línea de tiempo se escribieron los tiempos de ciclo (TC) mostrados en la Tabla 3. 3 para la referencia [REDACTED] y en la Tabla 3. 4 para la referencia [REDACTED] suponiendo un lote de transferencia de 1 pieza.
- En la segunda línea de tiempo se colocó el TC que se lleva cada proceso, al procesar el tamaño real del lote de transferencia.

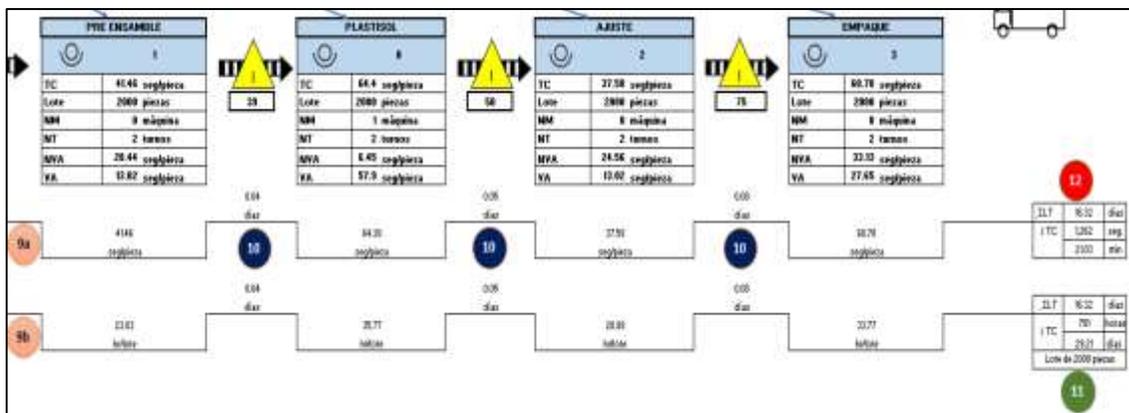


Figura 3. 11 Pasos del 9-12 para la elaboración del VSM: colocación de líneas del tiempo con los TC, lead time, sumatoria de los TC y sumatoria de LT de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).



Figura 3. 12 Pasos del 9-12 para la elaboración del VSM: colocación de líneas del tiempo con los TC, lead time, sumatoria de los TC y sumatoria de LT de la referencia [REDACTED].

Con el fin de apreciar mejor los procesos con mayor problema, para calcular el tiempo de ciclo por lote se utilizó la Ecuación 3.1:

$$TC(\text{lote}) = \frac{(TC)(TL)}{(3600 \frac{\text{seg}}{\text{hr}})} \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde:

- TC (lote) = Tiempo de ciclo de lote (hr/lote)
- TC = Tiempo de ciclo (seg/pieza)
- TL = Tamaño de lote de transferencia (piezas / lote)

11. Se calculó en *Lead Time* (LT) de cada proceso con la Ecuación 3.2 y se colocó en la línea del tiempo de las Figura 3. 11 (referencia ■) y Figura 3. 12 (referencia ■).

$$LT = \frac{\text{Inventario}}{\text{Demanda diaria}} \dots\dots\dots (3.2)$$

12. Se realizó la sumatoria del tiempo de ciclo ($\sum TC$) de los procesos para la referencia ■ (Figura 3. 11) y para la referencia ■ (Figura 3. 12) para obtener el tiempo de fabricación de una referencia y de un lote de referencias:

- Para la referencia ■ lotes de 2000 piezas.
- Para la referencia ■ lotes de 120 piezas.

13. Se obtuvo la sumatoria del *Lead Time* ($\sum LT$) de cada proceso para la referencia ■ (Figura 3. 11) y para la referencia ■ (Figura 3. 12).

14. Se agregaron al VSM datos que muestran la demanda mensual, el número de turnos, días disponibles por mes y horas disponibles por día. Este paso se ilustra en las siguientes figuras:

- Figura 3. 13, para la referencia ■
- Figura 3. 14, para la referencia ■.

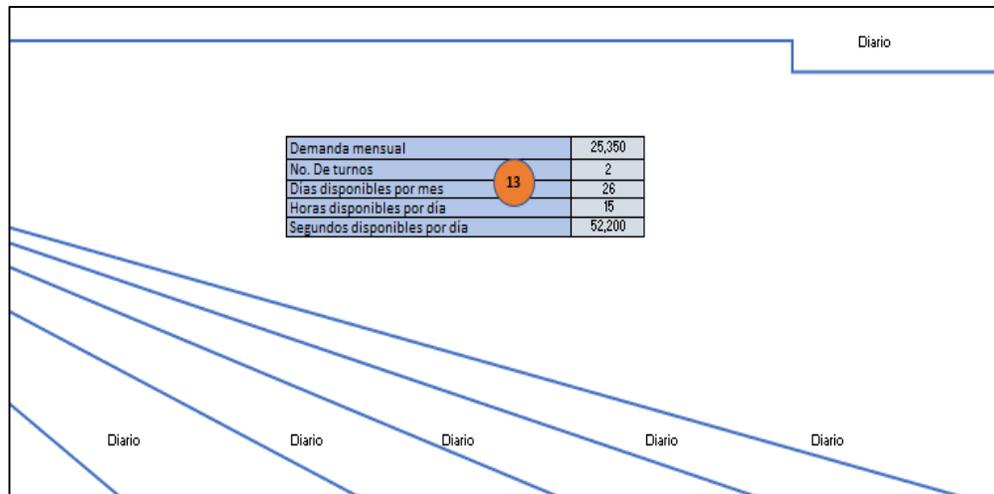


Figura 3. 13 Paso 13 para la elaboración del VSM: colocación de datos de demanda, turnos, días disponibles y horas por día de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

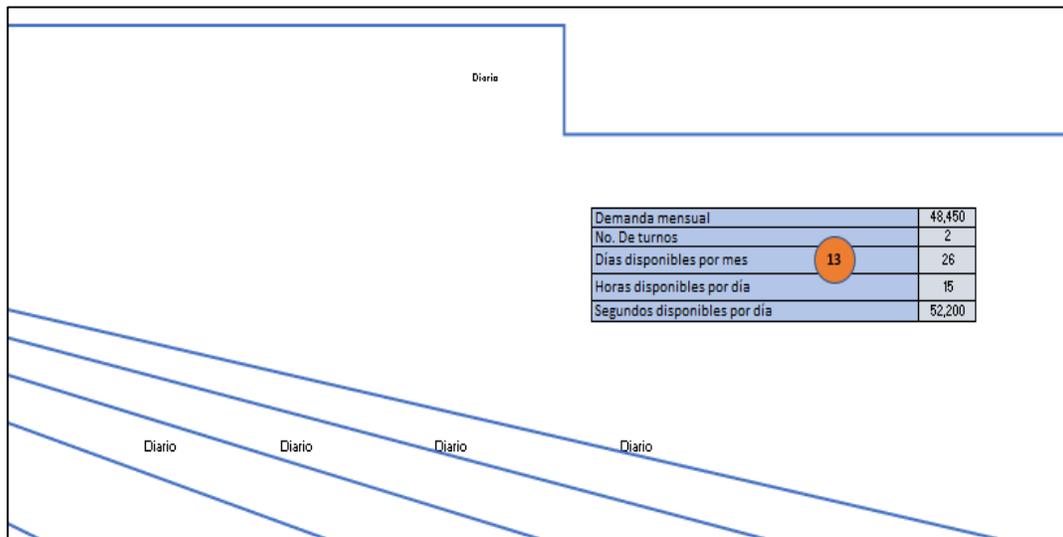


Figura 3. 14 Paso 13 para la elaboración del VSM: colocación de datos de demanda, turnos, días disponibles y horas por día de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

El mapeo de la cadena de valor del estado presente para cada referencia de [REDACTED], que se obtuvo como resultado de la metodología anterior, se muestran de la siguiente manera:

- Para la referencia [REDACTED] en la Figura 3. 15A y Figura 3. 16B
- Para la referencia [REDACTED] en la Figura 3. 17A y Figura 3. 18B

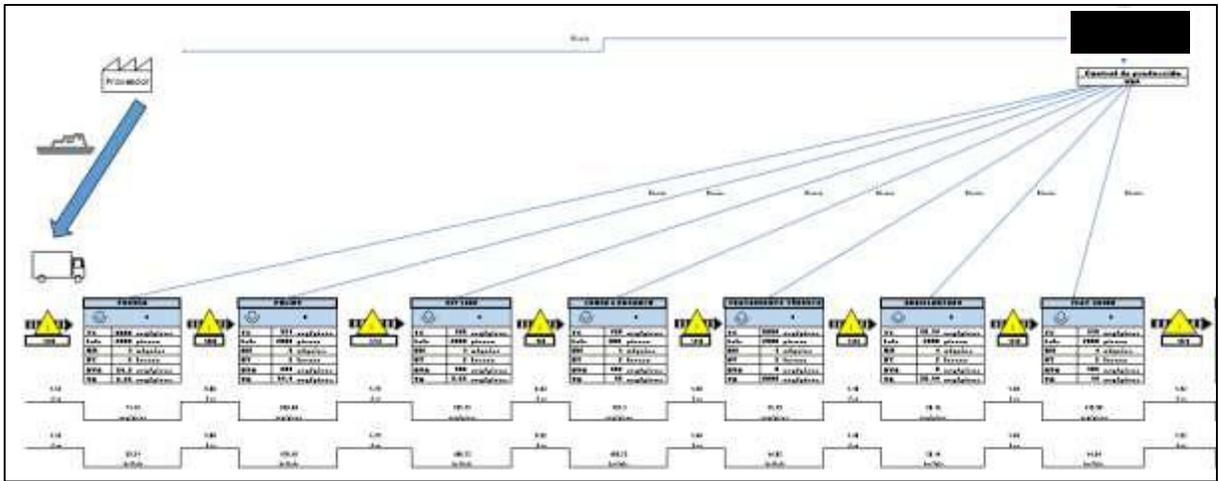


Figura 3. 15 A Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [redacted] (Autoría propia).

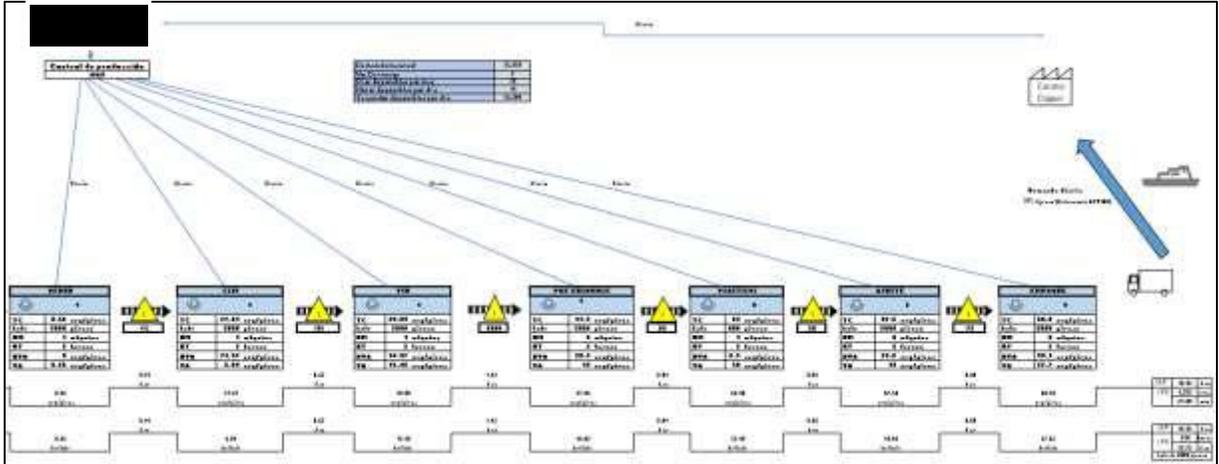


Figura 3. 16 B Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [redacted] (Autoría propia).

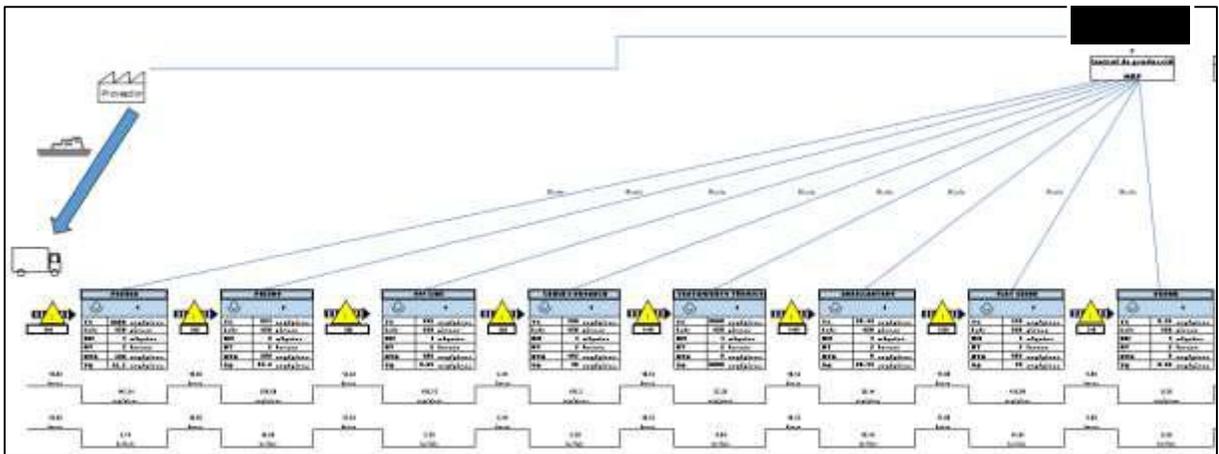


Figura 3. 17 A Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [redacted] (Autoría propia).

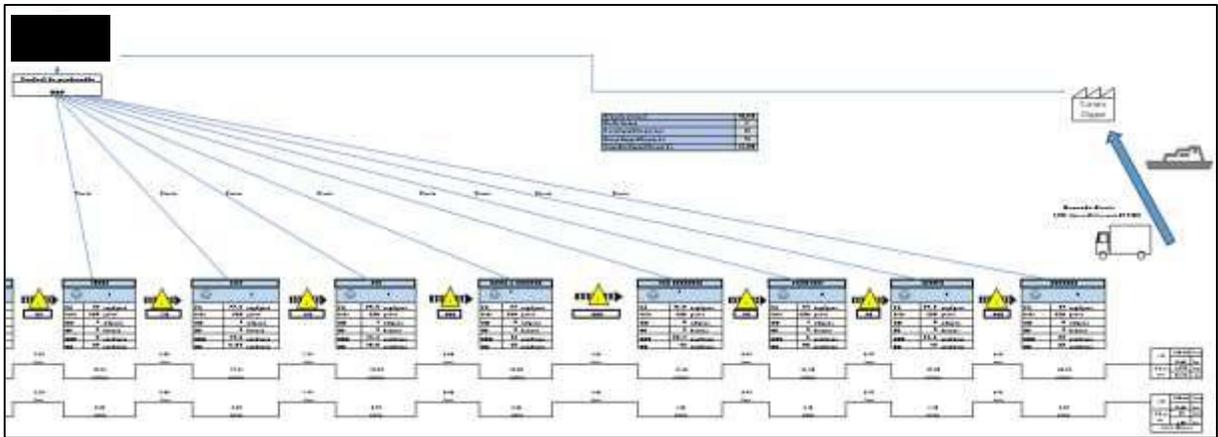


Figura 3. 18 B Mapeo de la cadena de valor del estado presente de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

3.3.3.6 Análisis del mapeo de la cadena de valor del estado presente de [REDACTED]

Con base en la elaboración del mapeo de la cadena de valor del estado presente de la línea de [REDACTED] para la referencia [REDACTED] (Figura 3. 15 y Figura 3. 16) se determinó lo siguiente:

- Exceso de material esperando ser procesado en la mayoría de los procesos de fabricación de la referencia [REDACTED], debido a que existe un lote de transferencia muy grande (2000 piezas/lote).
- Que los procesos que tienen un mayor tiempo de inventario fueron:
 - Pulido con 3.08 días.
 - *Debur* con 1.92 días.
 - *Off line* con 1.79 días.
- Que los procesos con mayor tiempo de ciclo, suponiendo un lote de transferencia unitario, fueron:
 - Pulido con 320 segundos/pieza.
 - *Crush & Broach* con 197.5 segundos/pieza.
 - *Off line* con 195.75 segundos/pieza.
- Que el proceso con mayor tiempo de ciclo con lotes de transferencia de 2000 piezas/lote fue pulido con 178.16 horas/lote
- Que la sumatoria de tiempo de ciclo, suponiendo un lote de transferencia unitario de la referencia [REDACTED], fue de 21.03 minutos.

- Que la sumatoria de tiempo de ciclo, con lotes de transferencia de 2000 piezas, fue de 29.21 días.
- Que el *lead time* es de 16.32 días, el cual indica que se tienen 16 días de inventario de piezas en el proceso.

Para el mapeo de la cadena de valor, del estado presente de la línea de ■■■, para la referencia ■■■ (Figura 3. 17 y Figura 3. 18) se observó lo siguiente:

- Exceso de material esperando ser procesado en la mayoría de los procesos de fabricación de la referencia ■■■, para esta referencia el tamaño del lote es de 120 piezas.
- Que los procesos que tienen un mayor tiempo de inventario fueron:
 - Tratamiento térmico con 18.55 horas.
 - Abrillantado con 18.55 horas.
 - *Flat grind* con 17 horas.
- Que los procesos con mayor tiempo de ciclo, suponiendo un lote de transferencia unitario, fueron:
 - Pulido con 320.68 segundos/pieza.
 - *Crush & Broach* con 197.5 segundos/pieza.
 - *Off line* con 195.75 segundos/pieza.
- Que el proceso con mayor tiempo de ciclo, con lotes de transferencia de 120 piezas/lote, fue pulido con 10.69 horas/lote.
- Que la sumatoria de tiempo de ciclo, suponiendo un lote de transferencia unitario, de la referencia ■■■, fue de 22.48 minutos.
- Que la sumatoria de tiempo de ciclo, con lotes de transferencia de 120 piezas, fue de 1.98 días.
- Que el *lead time* es de 135.65 días, por lo que tienen un exceso de material de inventario entre procesos.

3.4 Diseño del sistema *Kanban* para la producción de la referencia [REDACTED]

En este apartado se describe como se implementó el sistema *Kanban* para la línea [REDACTED]

[REDACTED]. El diseño e implementación del sistema *Kanban* se desarrolló en las etapas siguientes:

1. Selección de la referencia para la cual implantar el sistema *Kanban*.
2. Desarrollo de propuestas de mejora en [REDACTED].
3. Indicadores por evaluar antes de la implantación del sistema *Kanban*.
4. Desarrollo de actividades para el puesto del *milk run*.
5. Adaptación de reglas del sistema *Kanban* para la línea de [REDACTED].

3.4.1 Selección de la referencia para la cual implantar el sistema *Kanban*

Para la implementación del sistema *Kanban* en [REDACTED] se decidió trabajar con la referencia [REDACTED] debido a que se observó que los lotes comprados de materia prima vienen en cajones demasiado grandes, como consecuencia, la línea maneja lotes de transferencia según la cantidad de piezas que tenga el cajón y, el cajón se usa como contenedor para pasar los productos en proceso a las siguientes etapas.

3.4.2 Desarrollo de propuestas de mejora en [REDACTED]

Para el diseño del sistema *Kanban*, a implantar en la línea de [REDACTED], se desarrollaron dos propuestas que sirvieron de apoyo para el sistema; las propuestas son las siguientes:

1. Reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada.
2. Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED].

3.4.2.1 Reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada

La primera propuesta para implantar el sistema *Kanban* en la línea de [REDACTED] fue la reducción del tamaño de lote de la referencia [REDACTED], debido a que uno de los mayores problemas en [REDACTED], es la presencia de exceso de material debido a que el área recibe la materia prima en lotes grandes; cada lote se recibe en un cajón de madera.

Para reducir el tamaño del lote, de la materia prima comprada: gancho y *stub*; para la producción de la referencia [REDACTED], se realizó una investigación y análisis del tamaño de lote que se compra, como lo envía el proveedor, que proveedor lo envía; los datos que se encontraron (Tabla 3. 5). fueron los siguientes:

- El tamaño del lote para el gancho es de 1500 piezas/cajón.
- El tamaño del lote para el *stub* es de 2000 piezas/cajón.
- El proveedor de la referencia de ambas partes (gancho y *stub*) es [REDACTED].
- El lugar de procedencia de la referencia es Vietnam.

Una vez que se obtuvo la información de la Tabla 3.5 se decidió realizar un análisis del peso del lote actual, para ello, primero se tomaron los pesos de las forjas de la referencia [REDACTED] (Tabla 3. 6) y, posteriormente, considerando los lineamientos marcados en la NOM-006-STPS-2014 de manejo y almacenamiento de materiales, la cual señala que el peso máximo de carga para hombres es 25 kg, se determinó el peso de los lotes actuales (Tabla 3. 7) y se encontró que éstos estaban fuera de las normas.

Tabla 3. 5 Datos de la referencia [REDACTED]: Número de parte, descripción, lote actual, proveedor y país de procedencia (Autoría propia).

Referencia	Número de parte	Descripción	Lote actual	Proveedor	País de procedencia
[REDACTED]	[REDACTED]	FRG [REDACTED] STUB	2000	[REDACTED]	Vietnam
	[REDACTED]	FRG [REDACTED] HOOK	1500	[REDACTED]	Vietnam

Tabla 3. 6 Pesos de forjas de la referencia [REDACTED] y [REDACTED] contenedor.(Autoría propia).

Descripción	Peso Kg
Contenedor	3.134
<i>Stub</i>	0.134
Gancho	0.156

Tabla 3. 7 Análisis de lotes actuales (Autoría propia).

Referencia	Descripción	Tamaño de lote Piezas	Peso Kg	Cumple condición
[REDACTED]	Gancho	2000	312	Inadecuado
[REDACTED]	Stub	1500	201	Inadecuado

Una vez que se analizaron los pesos de los lotes actuales se propusieron los siguientes nuevos tamaños de lote:

- Para el *stub* pasar de lotes de 2000 piezas/cajón a lotes de 120 piezas/caja.
- Para el gancho pasar de lotes de 1500 piezas/cajón a lotes de 120 piezas/caja.

Para analizar los pesos de los tamaños de los lotes propuestos se realizó la Tabla 3. 8, donde se observa que los tamaños de los lotes propuestos tienen un peso que no sobrepasa el peso máximo establecido por la norma NOM-006-STPS-2014: 25 kg para hombre.

3.4.2.2 Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED].

Para dar apoyo al sistema *Kanban* se realizó la propuesta de colocar *supermercados* de forjas en puntos clave de [REDACTED].

Tabla 3. 8 Análisis de lotes propuestos (Autoría propia).

Referencia	Descripción	Tamaño de lote Piezas	Peso Kg	Cumple condición
■	Gancho	120	21.854	Adecuado
	Stub	120	19.214	Adecuado

Para la determinación de los puntos clave se tomó como base el mapeo de la cadena de valor del estado actual (Sección 3.3.3.5 Elaboración del mapa de la cadena de valor). Con base en este mapeo se seleccionaron las áreas con base en los siguientes criterios:

- Donde había un mayor almacenamiento de material en proceso.
- Donde se perdía mayor tiempo por abastecimiento de material al proceso.
- Que haya suficiente espacio para la colocación de un supermercado en el área.

Las áreas seleccionadas (puntos clave) en los que se ubicarían los *supermercados* propuestos fueron las siguientes:

- Prensa. Con este proceso se inicia la producción de la referencia ■.
- *Flat grind*. Este proceso es el primer proceso que inicia la producción después de abrillantado.

Para observar la ubicación propuesta de los supermercados se realizó la Figura 3. 19.

Una vez que se desarrolló la propuesta de ubicación de los supermercados se procedió a diseñar los supermercados en el software solidworks que tiene la empresa, considerando el espacio disponible y los contenedores a usar para cada proceso. Para una mejor visualización de los supermercados se muestran las siguientes figuras:

- Para el área de prensa se muestra en la Figura 3. 20.
- Para el área de *flat grind* se muestra en la Figura 3. 21.

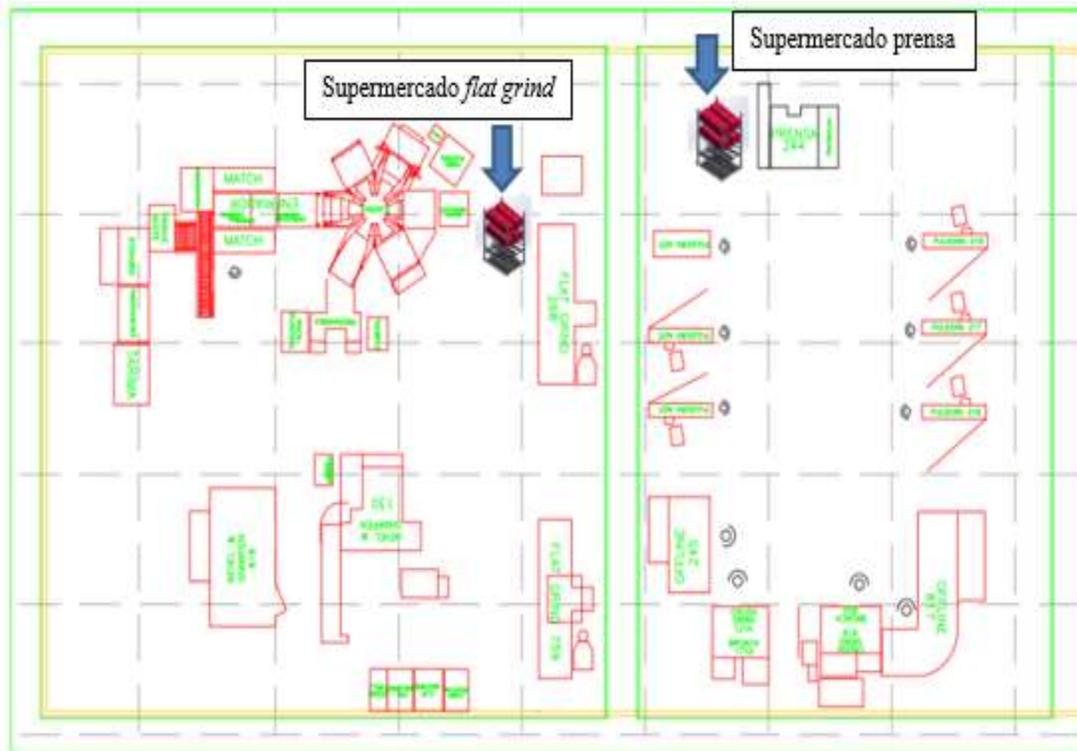


Figura 3. 19 Ubicación propuesta de los supermercados para [REDACTED] (Autoría propia).

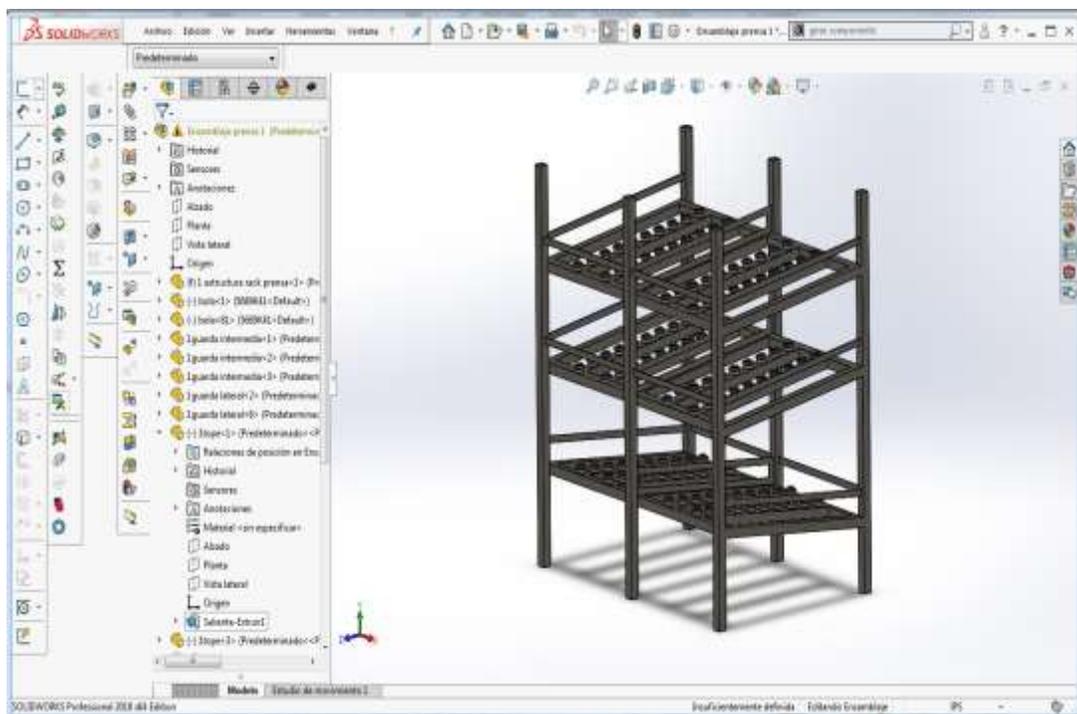


Figura 3. 20 Diseño propuesto para el supermercado de forjas del área de prensa (Autoría propia).

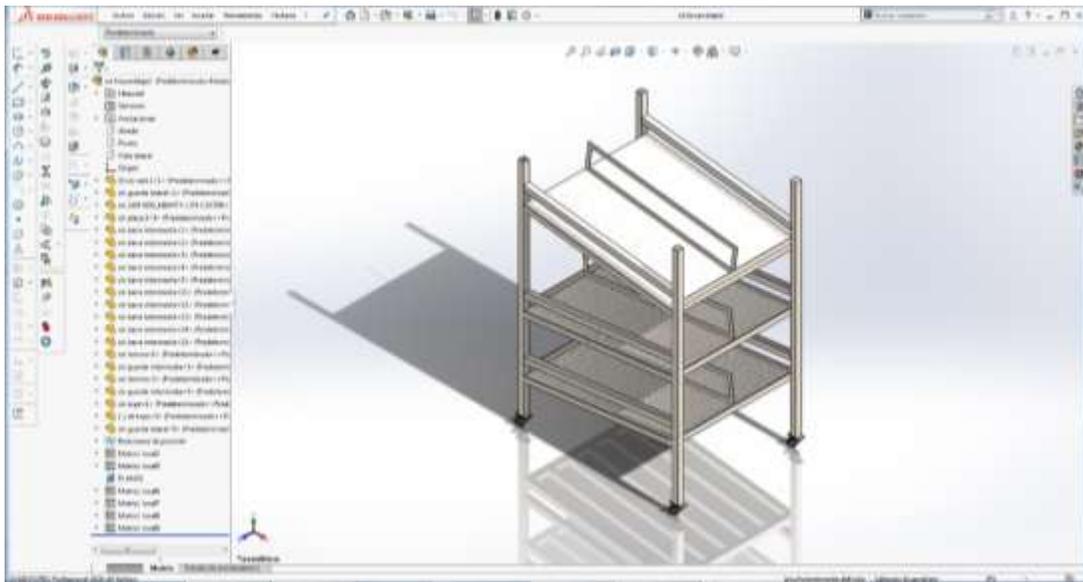


Figura 3. 21 Diseño propuesto para el supermercado de forjas del área de flat grind (Autoría propia).

Los *supermercados* propuestos tienen las siguientes características físicas adaptadas a las necesidades del sistema *Kanban* para [REDACTED]:

- Sistema de primeras entradas primeras salidas (FIFO).
- Espacio para la colocación de contenedores vacíos.
- Mayor aprovechamiento de espacio.
- Área para rellenar por la parte trasera.
- Facilidad de movimiento por las llantas que contiene.

Las ventajas de los supermercados propuestos son las siguientes:

- Que tienen un mayor tiempo de tolerancia de abastecimiento.
- Que arrojan una señal visual para abastecer el rack.
- Que visualmente el área se ve con un mayor orden.
- Que existe un mayor aprovechamiento de espacio.

3.4.3 Indicadores a evaluar antes de la implantación del sistema *Kanban*

Los indicadores por evaluar, para ver si la implantación del sistema *Kanban* es realmente efectiva, que se seleccionaron del mapa de cadena de valor (VSM de la Sección 3.3.3.4 Selección y cálculo de indicadores fueron los siguientes:

- Inventario en proceso (Δ).
- Tiempo de ciclo (TC).
- Tiempo que no agrega valor al producto (NVA).

Los valores de estos indicadores se muestran en la Tabla 3. 9.

3.4.4 Desarrollo de actividades para el puesto del *milk run*

Uno de los problemas que más impactan en el cumplimiento de la producción diaria es el tiempo perdido por actividades que no agregan valor al producto, por lo que los ingenieros de la empresa requerían del desarrollo de actividades para el puesto del *milk run* para [REDACTED], como línea piloto. Las dos ventajas que el puesto de *milk run* traería a la línea son:

1. Reducción de actividades que no agregan valor al producto.
2. Reducción del tiempo perdido en abastecimiento de material.

Tabla 3. 9 Indicadores a usar de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

Proceso	Inventario en proceso (Δ) Piezas	Tiempo de ciclo (TC) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (NVA) seg
Prensa	1500	71.12	64.87
Pulido	3000	320.68	289.26
<i>Off line</i>	1742	195.75	186.1
<i>Crush & Broanch</i>	900	197.50	181.59

Tabla 3. 9 Indicadores a usar de la referencia [REDACTED] (Autoría propia).

Proceso	Inventario en proceso (Δ) Piezas	Tiempo de ciclo (TC) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (NVA) seg
Tratamiento térmico (HT)	1440	25.23	0.00
Abrillantado	1440	20.14	0.00
<i>Flat grind</i>	1440	119.38	105.37
<i>Debur</i>	1870	0.56	0.00
Clip	432	77.61	71.57
Pin	600	29.83	14.37
Preensamble	1380	41.46	28.44
Plastisol	39	64.38	6.45
Ajuste	50	37.58	24.56
Empaque	75	60.78	33.13

Lo primero que se realizó para el desarrollo de actividades del puesto del *milk run*, fue la descripción de las siguientes actividades dentro de la línea:

- Abastecer de insumos.
- Dar de baja los insumos.
- Dar de baja la materia prima.
- Abastecer forjas.
- Recuperar material.
- Dar de baja la chatarra.

En la Tabla 3. 10 se colocó la descripción de las actividades que realizará el puesto de *milk run*.

Tabla 3. 10 Descripción de actividades del puesto milk run (Autoría propia).

Actividades	Descripción	Frecuencia
Abastecer de insumos	El <i>milk run</i> abastecerá a los operadores de cada proceso de la línea de insumos necesarios para producir.	Diario
Dar de baja los insumos	El <i>milk run</i> deberá dar de baja en el sistema MP los insumos que serán entregados a los operadores.	Diario
Dar de baja la materia prima	Una vez que la materia prima sea puesta a disposición de la línea, el <i>milk run</i> se encargará de dar de baja la materia en el sistema.	Cada 2 días
Abastecer de forjas	El <i>milk run</i> se encargará de realizar los cambios de contenedores vacíos a contenedores llenos de forjas en cada proceso de la línea.	Diario
Recuperar material	El <i>milk run</i> inspeccionará las forjas rechazadas para realizar la recuperación de materia prima que aun pueda ser procesada.	Cada 15 días
Dar de baja la chatarra	El <i>milk run</i> dará de baja el material que no pueda ser procesado nuevamente como chatarra.	Cada 15 días

Las actividades coordinadas por supervisión y que fue enseñado el procedimiento a la persona asignada al puesto del *milk run* fueron las siguientes:

- Dar de baja del sistema la materia prima (forjas).
- Dar de baja los insumos (bandas, abrasivos, entre otros).
- Dar de baja la chatarra.
- Recuperar material.

Las actividades que se coordinaron, para el presente proyecto, fueron:

1. El abastecimiento de insumos

2. El abastecimiento de forjas.

3.4.4.1 Coordinación del abastecimiento de insumos

Para la coordinación del abastecimiento de insumos se requirió hacer un listado de todos los insumos ocupados en la línea (Tabla 3. 11).

Tabla 3. 11 Listado de insumos (insumos de pulido a off line) (Autoría propia).

Referer	Process	Activities	Frequency	Qty	Time (Min)	Operator
	Polishing	Provide Abrasive band grit 120	Shift Begining	5 units	5	MilkRun
	Polishing	Provide Abrasive band grit 100	Shift Begining	5 units	5	MilkRun
	Polishing	Provide Abrasive band grit 120	Shift Begining	5 units	5	MilkRun
	Polishing	Provide Abrasive band grit 120	Shift Begining	5 units	5	MilkRun
	Off Line	Provide Round Cutter 1 7/16" woodroff	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide Round Cutter 1212	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/2"	Daily	2 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/4"	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide double Cut Drill 1/2"	Daily	3 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide 17/64" Drill	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Cutter #806	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide Round Cutter 1 7/16" woodroff	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide Round Cutter 1212	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/2"	Daily	2 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/4"	Daily	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide double Cut Drill 1/2"	Daily	3 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide 17/64" Drill	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide #806 cutter	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide double Cut Drill 9/16"	Daily	3 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/2"	Daily	4 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide Insert holder and Inserts	when necessary	2 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide 21/64" Drill	Each 3 days	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide #20 Drill	Each 3 days	3 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide countersink 1/4"	Each 3 days	3 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide Round Cutter 1 7/16" woodroff	Each 2 days	1 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide 3.1 Drill	Shift Begining	5 units	3	MilkRun
	Off Line	Provide O Drill	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide 17/64" Drill	Daily	1 Unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide #39 Drill	Daily	3 unit	3	MilkRun
	Off Line	Provide vertical cutter 3/16"	Each 2 days	1 unit	3	MilkRun

Con ayuda de la lista de insumos de la línea se realizó un formato (Tabla 3. 12) para el registro y control de insumos. Este formato muestra el área de los insumos, la referencia utilizara los insumos, la descripción del insumo, la frecuencia de uso, la cantidad a entregar, el código de barras, un espacio para la colocación del nombre del trabajador al que se le entrega el insumo y el número de su máquina. Con toda esta información el formato de la Tabla 3. 12 ayudará al *milk run* a conocer los insumos para cada referencia.,

Para que el *milk run* pudiera abastecer los insumos se pidió la compra de un carrito para transportar los insumos que el *milk run* entregaría en la línea, ya que entre los insumos a repartir se encontraban piedras abrasivas con un peso de 5 kg aproximadamente. El carrito que se utilizó

(Figura 3. 22) para el proyecto ya se encontraba en la empresa, ya que anteriormente fue comprado para otra actividad, pero no se le daba ningún uso, por lo que fue asignado para el proyecto.

Para que el carrito de insumos fuera funcional se le hicieron las siguientes modificaciones (Figura 3. 23):

- La eliminación de la escalera que tenía.
- La colocación de divisiones para la colocación de insumos.

Tabla 3. 12 Formato de registro y control de insumos (insumos del área de prensa) (Autoría propia)..

		REGISTRO Y CONTROL DE INSUMOS			Elaboró: Línea: Fecha:			
Área	Referencia	Insumo	Frecuencia	Cantidad		Código de barras	Nombre	#Tag
				Por estación	Total Entregada			
Pulida	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 885Y984 2*126 G-100 (VSM 3M) BP	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 8K870- 723D 2*126 G100 (VSM 3M)	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 885Y984 2*126 G-100 (VSM 3M) BP	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 8K870- 723D 2*126 G100 (VSM 3M)	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 885Y984 2*126 G-100 (VSM 3M) BP	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 8K870- 723D 2*126 G100 (VSM 3M)	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 885Y984 2*126 G-100 (VSM 3M) BP	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	BANDA ABRA 8K870- 723D 2*126 G100 (VSM 3M)	Inicio de turno	<input type="checkbox"/>	5			
	<input type="checkbox"/>	Braca Doble Cartera 946*	Diaria	<input type="checkbox"/>	3			



Figura 3. 22 Carrito para insumos asignado por la empresa.



Figura 3. 23 Carrito para insumos modificado.

Tanto para el abastecimiento de insumos como para el abastecimiento de forjas, se realizaron rutas y procedimientos, para que el *milk run* entregará lo requerido. Para el abastecimiento de insumos se trabajará de la siguiente manera:

1. Una hora antes de finalizar el turno, el *milk run* debe:
 - a. Llevar el carrito para insumos al almacén de insumos.
 - b. Llevar el formato de registro y control de insumos (Tabla 3. 12) de la referencia que se producirá, al siguiente día.
2. El personal de almacén de insumos debe abastecer el carrito con los insumos indicados en el formato.
3. Diez minutos antes de finalizar su turno, el *milk run* debe:
 - a. Regresar al almacén para cotejar con el formato que los insumos estén completos y sean los correctos.
 - b. Dar de baja los insumos en el sistema MP con ayuda del formato, utilizando el código de barras que se encuentra en el formato según el insumo.
 - c. Resguardar el carrito dentro del almacén.
4. Al inicio del turno, cuando el *milk run* ingrese a la planta [REDACTED] debe llevar a cabo la repartición de los insumos a [REDACTED] realizando lo siguiente:
 - a. Dirigirse a su casillero y colocarse el equipo de protección personal (EPP).
 - b. Ir al almacén de insumos.
 - c. Tomar el carrito con los insumos.
 - d. Llevar los insumos a los operadores de la línea [REDACTED] con la ruta “abastecimiento de insumos” que se muestra en la Figura 3. 24.

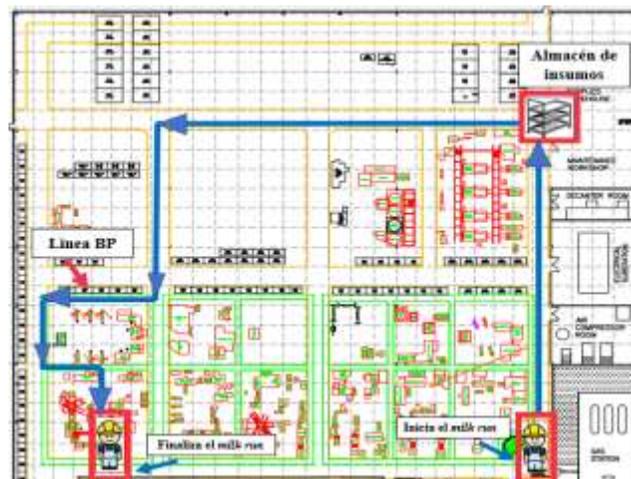


Figura 3. 24 Ruta para el abastecimiento de insumos.

3.4.4.2 Coordinación del abastecimiento de forjas

Para el abastecimiento de forjas se crearon tres rutas de abastecimiento; cada ruta para un proceso de la línea. Los procesos que se abastecerán son el preensamble, clip/pin y prensa. Estos procesos fueron elegidos por lo siguiente:

- Preensamble y clip/pin. Son procesos que están alejados del proceso del que se alimentan.
- Prensa. Es el primer proceso de producción por lo que no hay quien lo alimente.

Para el abastecimiento, de forjas, el *milk run* debe realizar los procedimientos y rutas correspondientes:

1. La primera ruta “abastecimiento del área preensamble” inicia y termina en el área de preensamble, esta área requiere de dos partes: gancho y *stub*. El *milk run* inicia esta ruta al finalizar la ruta de entrega de insumos. La ruta “abastecimiento de preensamble” se observa en la Figura 3. 25 y contempla los siguientes pasos:
 - El *milk run* tomará una base para transportar forjas.
 - Se dirigirá a preensamble.
 - Observará si hay contenedores vacíos, que necesiten ser abastecidos.
 - Si hay contenedores vacíos, los tomará y los llevará al área de *flat grind* para intercambiarlos por contenedores llenos.
 - Posterior al área de *flat grind* pasará al área de clip/pin e intercambiará los contenedores vacíos por llenos.
 - Una vez que se tenga el material del área de *flat grind* (gancho) y del área de clip/pin (*stub*), el material recolectado deberá llevarse a preensamble para que pueda ser procesado.
2. La segunda ruta (Figura 3. 26) para el abastecimiento de forjas, posterior al abastecimiento de preensamble, es en el área de clip/pin; en esta ruta el *milk run* debe:
 - Dirigirse al área de *clip/pin*, observar si hay contenedores vacíos.
 - Tomar contenedores vacíos e intercambiarlos en el área de *flat grind* por contenedores llenos de *stub*.
 - Llevar los contenedores llenos de material al área de *clip/pin*.

3. La tercera ruta (Figura 3. 27) abastecerá el área de prensa, por lo que el *milk run* debe realizar el siguiente recorrido:
- Dirigirse al área de prensa, un punto donde se ubicará un supermercado de forjas, observar si algún nivel de entrada se encuentra vacío.
 - Si el nivel está vacío deberá dirigirse al área de preparación del material (atrás de pulidoras) y deberá preparar cajas de materia prima: quitar el fleje y abrir las cajas.
 - Subir las cajas a una base de apoyo y llevar las cajas al supermercado del área de prensa.
 - Colocar las cajas de materia prima en el supermercado.

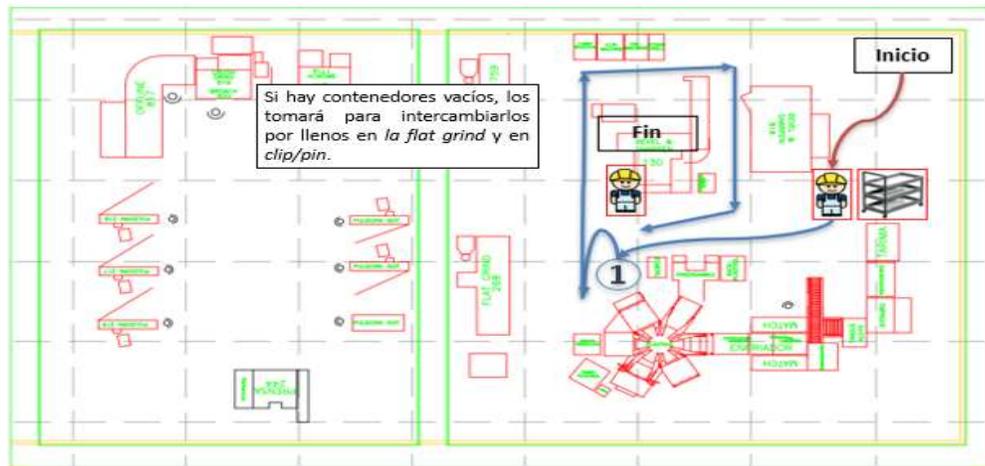


Figura 3. 25 Ruta 1 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de preensamble.

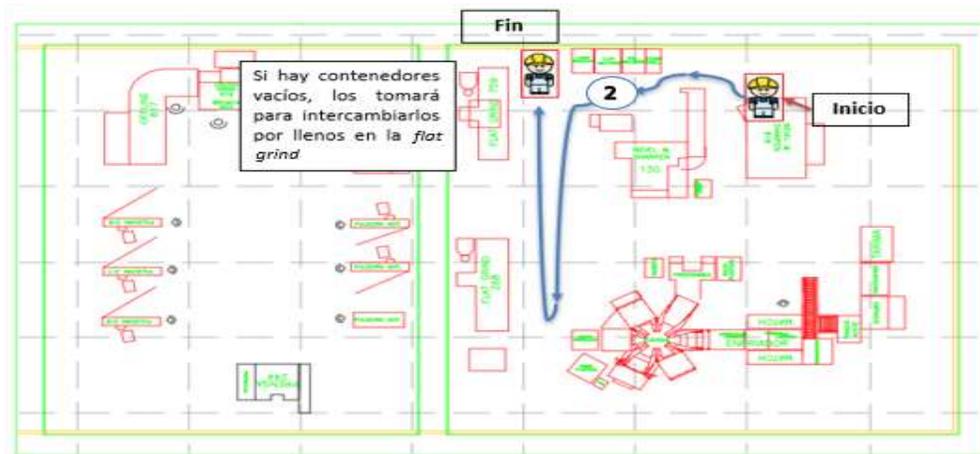


Figura 3. 26 Ruta 2 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de clip/pin.



Figura 3. 27 Ruta 3 de abastecimiento de forjas: abastecimiento del área de prensa.

3.4.5 Adaptación de reglas del sistema *Kanban* para la línea de [REDACTED]

Para que la implantación del sistema *Kanban* fuera efectiva se adaptaron reglas del concepto *Kanban* (Sección 2.6.3 Reglas del sistema *Kanban* al sistema que se diseñó para [REDACTED]). Las siguientes reglas se realizaron con base en las necesidades de la línea:

1. Todos los operadores de la línea deberán estar informados y capacitados. En caso de que un operador nuevo ingrese a la línea deberá capacitarse previamente.
2. Las áreas para colocar el material deberán estar definidas y delimitadas en todo momento.
3. Cada proceso tendrá los contenedores exactos para trabajar.
4. Cada operador se hará responsable del área donde se encuentra laborando.
5. Todo el sistema será desencadenado por el último proceso: empaque; con el fin de trabajar bajo el enfoque *pull*.
6. El ritmo de producción estará dado por contenedores vacíos del siguiente proceso que se encuentren en su área de trabajo.
7. El proceso posterior recogerá del anterior las forjas en la cantidad de los lotes establecidos precisas en el momento oportuno. Los tamaños de lotes son:
 - Para el gancho de 100 piezas.
 - Para el *stub* de 130 piezas.

8. El material defectuoso nunca deberá pasar al siguiente proceso, deberá ser separado del resto y remitido al material para reproceso.
9. Para el caso de los puntos con supermercado: prensa y *flat grind*; se abastecerá cuando uno de los niveles de entrada se encuentre vacía.
10. Los procesos que serán abastecidos de forjas, por el *milk run*, serán prensa, *clip/pin* y preensamble.
11. Los procesos que no son abastecidos por el *milk run* son los procesos que se encuentran cerca uno del otro. Estos procesos deberán intercambiar los contenedores vacíos por llenos cuando el proceso lo demande.

3.5 Implantación del sistema *Kanban*

En esta sección se describen las acciones físicas realizadas en [REDACTED] para la implantación del sistema *Kanban*.

3.5.1 Implantación de propuestas de mejora en [REDACTED]

Las acciones tomadas para la implantación de las propuestas de mejora en [REDACTED], fueron las siguientes:

- Reducción del tamaño lote de la materia prima comprada.
- Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED].

3.5.1.1 Reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada

Para la reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada de la referencia [REDACTED], se llevó a cabo una junta con los ingenieros de la empresa, donde se habló sobre la reducción del tamaño de lote como propuesta y se mostró un archivo con varias diapositivas (Figura 3. 28 a la Figura 3. 31) que dieron un panorama de la consecuencia del tamaño de los lotes que se manejaban.



Figura 3. 28 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote a.



Figura 3. 29 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote b.

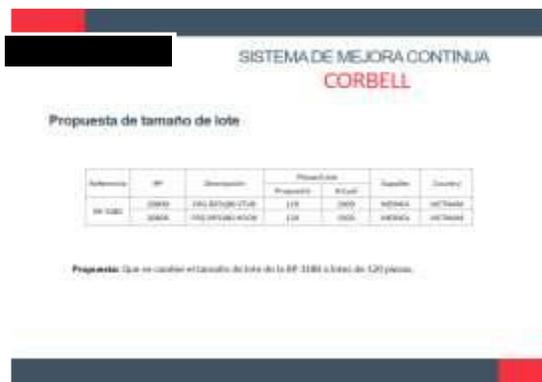


Figura 3. 30 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote c.



Figura 3. 31 Diapositivas de propuesta de tamaño de lote d.

En la junta que se realizó se aprobó la propuesta de reducción de lotes, por lo que la licenciada encargada de logística se hizo cargo de hablar con el proveedor correspondiente sobre dos puntos:

1. La reducción de tamaños de lote, para el gancho de 1500 piezas por contenedor de madera a 120 piezas por caja y para el stub de 2000 piezas por contenedor de madera a 120 piezas por caja.
2. El cambio del material de empaque, es decir, pasar de contenedores de madera a cajas de cartón.

Una vez que se habló con el proveedor, el proveedor realizó pruebas para la reducción del tamaño de lote y accedió a reducir el tamaño de lote sin costo extra, con las pruebas realizadas por el proveedor para el cambio de tamaño de lote, el proveedor propuso tamaños de lotes:

- La reducción de tamaños de lote para el gancho de 1500 piezas por contenedor de madera a 100 piezas por caja.
- La reducción de tamaños de lotes para el *stub* de 2000 piezas por contenedor de madera a 130 piezas por caja.

La propuesta del proveedor fue aceptada y el proveedor notificó a la empresa que el primer embarque de lotes con el nuevo tamaño llegaría en el mes de mayo, por lo que el 7 de mayo el primer embarque (Figura 3. 32 la Figura 3. 34) fue recibido por la empresa.

Posterior a la llegada del embarque, con el nuevo tamaño de lote, se procedió a la validación de los datos (Figura 3. 35 y Figura 3. 36): peso, cantidad y dimensiones las cajas;. La validación confirmó que las forjas venían como lo indicaba el proveedor.

El uso del material con los nuevos tamaños de lote no se realizó de manera inmediata, debido a que aún se tenía demasiado material en contenedores de madera con lotes extremadamente grandes y por el sistema de primeras entradas primeras salidas que se maneja en la empresa, no se utilizó de manera inmediata.



Figura 3. 32 Primer embarque de forjas con lotes pequeños a.



Figura 3. 33 Primer embarque de forjas con lotes pequeños b.



Figura 3. 34 Primer embarque de forjas con lotes pequeños c.



Figura 3. 35 Validación del primer embarque de forjas en lotes pequeños a.



Figura 3. 36 Validación del primer embarque de forjas en lotes pequeños b.

3.5.1.2 Colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED]

Para la colocación de supermercados, en puntos estratégicos de [REDACTED], se mostraron las siguientes dos propuestas en una junta con los ingenieros de la empresa para que pudieran dar su autorización:

1. El supermercado de forjas para prensa.
2. El supermercado de forjas para *flat grind*.

En la junta que se realizó se mostraron los diseños de los supermercados propuestos, los ingenieros autorizaron la elaboración del primer supermercado de forjas para el área de prensa.

El diseño del supermercado (Figura 3. 37) para el área de prensa fue replanteado y modificado, con lo siguiente:

- La altura del supermercado fue reducida.
- El nivel de salida fue cambiado para la parte superior.
- Las bolitas de gravedad se eliminaron y fueron reemplazadas por lamina.

El supermercado quedó como se muestra en la Figura 3. 38 y Figura 3. 39. Este supermercado no se pudo ocupar en el área de prensa debido a que ocurrió un incidente en el área, que mantuvo cerrada la prensa para realizar reparaciones, que duraron alrededor de cinco meses. Actualmente la prensa no se ha echado a andar, pero se espera que una vez que la prensa inicie la producción el supermercado de forjas se pueda usar.

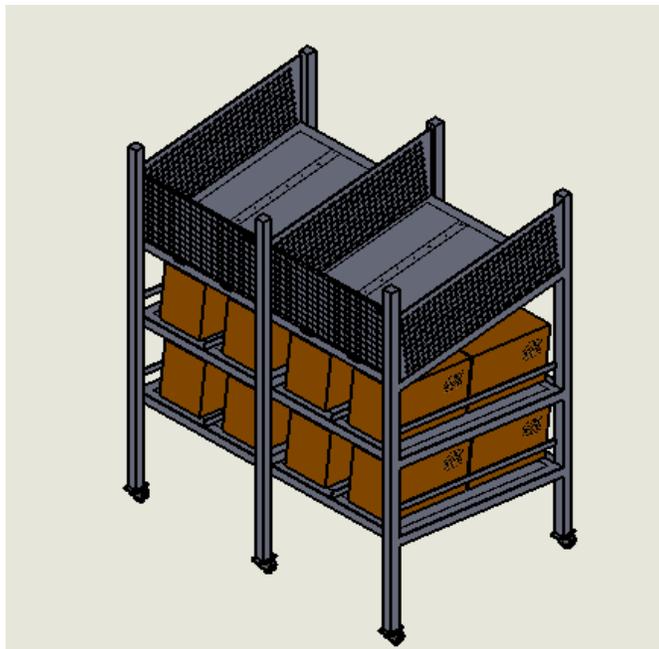


Figura 3. 37 Modificaciones al supermercado de forjas para el área de prensa.



Figura 3. 38 Supermercado de forjas para prensa con modificaciones (evidencia 1).



Figura 3. 39 Supermercado de forjas para prensa con modificaciones (evidencia 2).

Una vez que se realizó el primer supermercado de prensa se elaboró el supermercado de forjas para el área de *flat grind* (Figura 3. 40). El supermercado fue colocado en el área de *flat grind* donde se empezó a usar. La Figura 3. 41 y Figura 3. 42 muestra la evidencia del uso del supermercado en el área.



Figura 3. 40 Supermercado de forjas para el área de flat grind.



Figura 3. 41 Evidencia de uso del supermercado de forjas para el área de flat grind (evidencia 1).



Figura 3. 42 Evidencia de uso de supermercado de forjas para el área de flat grind (evidencia 2).

3.5.2 Implantación del desarrollo de actividades del puesto de *milk run*

Las acciones tomadas para la implantación del desarrollo de las actividades del puesto del *milk run*, se dividieron en dos partes:

1. Coordinación de abastecimiento de insumos.
2. Coordinación de abastecimiento de forjas.

3.5.2.1 Coordinación de abastecimiento de insumos

Como actividades de implantación de la coordinación de abastecimiento de insumos del *milk run* de la Sección 3.4.4.1 Coordinación del abastecimiento de insumos se realizaron las siguientes acciones:

- La colocación de bases en las estaciones de trabajo para ruedas abrasivas en el área de *crush & broanch, flat grind* y *bevel & sharpen* (Figura 3. 43).
- La colocación de ganchos para colgar bandas en el área de pulido (Figura 3. 44 y Figura 3. 45).
- La colocación de un contenedor para el área de pin (Figura 3. 46).

- La colocación de contenedores para brocas en el área de las *off line* (Figura 3. 47 y Figura 3. 48).

Las acciones realizadas se llevaron a cabo con él con el propósito de que el *milk run* pudiera colocar los insumos en un área específica.



Figura 3. 43 Acciones en la línea: base para ruedas abrasivas.



Figura 3. 44 Acciones en la línea: gancho para bandas.



Figura 3. 45 Acciones en la línea: bandas en los ganchos.



Figura 3. 46 Acciones en la línea: contenedor para pines.



Figura 3. 47 Acciones en la línea: interior de contenedor para brocas.



Figura 3. 48 Acciones en la línea: exterior de contenedor para brocas.

Para enseñar los procedimientos diseñados, sobre el abastecimiento de insumos a la persona que fue asignada para el puesto de *milk run*, se le capacitó por tres días y se le dio seguimiento a las actividades que realizaba. En los días de capacitación se mostró:

- Teoría sobre conceptos *Kanban*: la teoría que se le enseñó a la persona asignada para el puesto fueron los antecedentes, concepto y funcionamiento de un sistema Kanban.
- Herramientas para su puesto de trabajo: las herramientas para el puesto de *milk run*, se refiere al formato con el listado de insumos (Figura 3. 49 y Figura 3. 50) necesarios para cada referencia y el carrito asignado para el desarrollo del puesto.
- Procedimiento a seguir para la salida de insumos: el proceso que debía realizar la persona con el área de almacén de insumos.
- Procedimiento de entrega de insumos: los pasos a seguir para entregar un insumo a algún operador de la línea.
- Ruta de entrega de insumos: la manera y el orden en que debía la persona del puesto de *milk run* entregar los insumos (Figura 3. 51 a la Figura 3. 53).



Figura 3. 49 Listado de insumos de la referencia [redacted] impreso.



Figura 3. 50. Llenado de formato para entrega de insumos por el milk run.

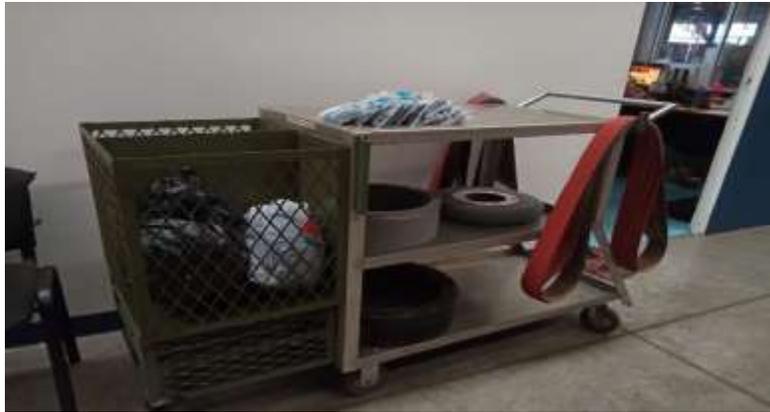


Figura 3. 51 Carrito de insumos surtido por primera vez con la referencia [REDACTED].



Figura 3. 52 Corrida de piloto de la ruta de insumos con el milk run a.



Figura 3. 53 Corrida de piloto de la ruta de insumos con el milk run b.

3.5.2.2 Coordinación de abastecimiento de forjas

Para la capacitación acerca de la coordinación de abastecimiento de forjas, como ya se había enseñado bases teóricas sobre el de Kanban a la persona en turno del puesto de *milk run*, solo se vieron los siguientes temas:

- Áreas por abastecer: las áreas a abastecer son tres:
 - Prensa.
 - *Flat grind*.
 - *Clip/pin*.
- Funcionamiento de supermercados de forjas y tiempos de entrega: el procedimiento a seguir para rellenar los supermercados y el tiempo aproximado en que debía revisar si se requería material en el área.

- Sistema de intercambio de contenedores: la forma correcta de intercambiar contenedores en el área correspondiente para abastecer el área de *clip/pin*.

3.5.3 Implantación de la adaptación de reglas del sistema *Kanban* para [REDACTED]

Como parte de la adaptación de reglas del sistema *Kanban*, para [REDACTED], se llevaron a cabo las siguientes acciones para dar cumplimiento a las reglas establecidas:

1. Para que todos los operadores de la línea estuvieran informados y capacitados se programaron dos sesiones de capacitación; éstas tuvieron una duración de dos semanas, debido a los roles de turnos entre los operadores de la línea. Posterior a las primeras sesiones de capacitación se llevaron a cabo las segundas sesiones de capacitación con información más específica sobre su proceso. La evidencia de la capacitación se muestra en las Figura 3. 54 a la Figura 3. 57.
2. Para que el material tuviera un área definida y delimitadas: se colocó cinta provisional con el objetivo de delimitar las áreas y ver el comportamiento de los operadores ante esta acción. Las evidencias de las delimitaciones se muestran de la Figura 3. 58 a la Figura 3. 61.



Figura 3. 54 Capacitación de generalidades a operadores de [REDACTED].



Figura 3. 55 Actividad de capacitación del sistema *Kanban* a operadores de [REDACTED].



Figura 3. 56 Capacitación específica por área de producción (evidencia 1).



Figura 3. 57 Capacitación específica por área de producción (evidencia 2).



Figura 3. 58 Delimitación del área para producto terminado.



Figura 3. 59 Delimitación del área para material de entrada para prensa.



Figura 3. 60 Delimitación del área para material de entrada para clip/pin.

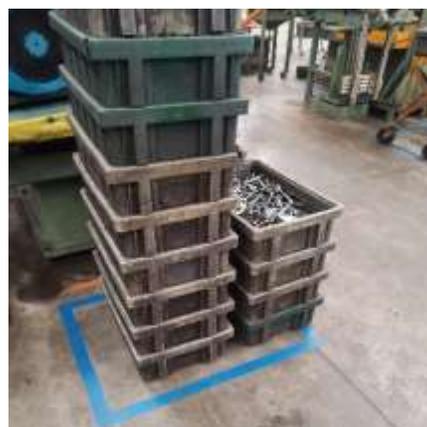


Figura 3. 61 Delimitación del área para material de salida de bevel & sharpen.

3. Para que cada proceso tuviera los contenedores exactos para trabajar a los operadores se les informó el número de lotes permitidos por proceso, en las sesiones de capacitación.
4. Para que cada operador se hiciera responsable del área donde se encuentra laborando se les informó este punto en las capacitaciones impartidas.
5. Para que el sistema fuera desencadenado por el último proceso, el sistema *Kanban* fue diseñado y descrito para que empezará por empaque.
6. Para que el ritmo de producción estuviera dado por contenedores vacíos del siguiente proceso se dio a conocer esta regla en las capacitaciones y monitoreada, posteriormente, en la línea.
7. Para que se respetaran los lotes de transferencia:
 - a. Se informó a los operadores los tamaños de lotes por área
 - b. Se redujo el tamaño de lotes comprados de la referencia ████████.
 - c. Se diseñó un procedimiento de armado de lotes por peso (kg) para el área de abrillantado.
 - d. Se adquirió una báscula (Figura 3. 62) y se diseñó una mesa (Figura 3. 63) para colocar la báscula.
 - e. Se realizaron pruebas con los pesos de los lotes para *flat grind* (Figura 3. 64).
 - f. Se determinaron los pesos establecidos para el armado de lotes.
12. Para la regla de detener el material defectuoso y no pase al siguiente proceso, se notificó a los operadores en la capacitación y se pidió apoyo al área de calidad para que capacitaran a los operadores sobre el tema: identificación de defectos.
13. Para que los puntos con supermercados fueran abastecidos, se capacitó al *milk run* y a los operadores de abrillantado sobre el funcionamiento de los supermercados y su abastecimiento.
14. Para que el abastecimiento de forjas fuera realizado se capacitó a la persona encargada del puesto de *milk run* sobre los procedimientos a seguir.
15. Para los procesos que no son abastecidos por el *milk run*, se notificó a los operadores en las capacitaciones los procedimientos de abastecimiento.



Figura 3. 62 Mesa con báscula para armado de lotes.



Figura 3. 63 Mesa para báscula. Figura 3. 64 Pesado de forjas.

3.5.4 Implantación de procedimientos del sistema Kanban diseñado de cada área de trabajo

Como apoyo a los procedimientos descritos, en la Sección 3.4.5 Adaptación de reglas del sistema *Kanban* para la línea de [REDACTED], se diseñó un formato para la evaluación del sistema *Kanban* en [REDACTED] con el fin de dar retroalimentación a los ingenieros de la empresa y reportar cuales eran las fallas del proceso para realizar acciones de mejora en [REDACTED]. Este formato se desarrolló a partir de los procedimientos y lineamientos del sistema *Kanban* que tenían un mayor incumplimiento. El formato se observa en la Tabla 3. 13.

Para entender el formato realizado se describirá a continuación las partes que conforman el formato y el procedimiento para su llenado. El formato de evaluación (Tabla 3. 13.) consta de 5 partes, y el procedimiento para su llenado es el siguiente:

Tabla 3. 13 Formato de evaluación del sistema Kanban

Atributos a evaluar		Evaluación del sistema Kanban					Línea:		
		FECHA:		ELABORÓ:					
		EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO	NO ACCEPTABLE	ACCIÓN	OBSERVACIÓN	
		(5)	(4)	(3)	(2)	(1)			
1	El orden de los procesos se respeta.								
2	Los contenedores establecidos se respetan.								
3	No hay material entre pasillos y al centro de la línea.								
4	El material está en el área establecida.								
5	Los insumos estan siendo entregados.								
6	Los contenedores vacíos se encuentran en el área establecida.								
7	Se cumple con la cantidad máxima de estibas para contenedores.								
8	La línea se encuentra limpia, libre de basura.								
9	No hay material innecesario en la línea.								
10	Los lotes de transferencia se respetan.								
11	El carrito de insumos esta abastecido y ordenado.								
12	El <i>milk run</i> se encarga de sus actividades establecidas.								
Puntaje subtotal							Puntaje total		

1. Área de datos generales del formato (Tabla 3. 14). El evaluador deberá llenar el área de datos generales al inicio de la evaluación, con lo siguiente:
 - a. Línea por evaluar.
 - b. Fecha de evaluación.
 - c. Nombre de él evaluador o de los evaluadores.

2. Lista de criterios a evaluar (Tabla 3. 15). Aquí se colocan los criterios que utilizan para evaluar el sistema *Kanban*.

3. Escala de evaluación (Tabla 3. 16). Para este punto el evaluador debe:
 - a. Dar un recorrido por la línea a evaluar.
 - b. Observar cada proceso teniendo en consideración los criterios a evaluar.
 - c. Evaluar cada criterio en una escala del 1 al 5; donde 1 es no aceptable y 5 es excelente.

4. Área de observaciones y acciones propuestas (Tabla 3. 17). Una vez que se haya realizado la evaluación se deberá:
 - a. Anotar las observaciones.
 - b. Colocar acciones propuestas, para mejorar las observaciones que sean negativas.

5. Área de puntaje total (Tabla 3. 18). En esta área del formato el evaluador deberá colocar la suma de los puntos que se fueron dados a los criterios de evaluación en la evaluación.

Tabla 3. 14 Área de datos generales del formato.

Evaluación del sistema Kanban		Línea:
FECHA:	ELABORÓ:	

Tabla 3. 15 Lista parcial de criterios por evaluar.

Criterios a evaluar	
1	El orden de los procesos se respeta.
2	Los contenedores establecidos se respetan.
3	No hay material entre pasillos y al centro de la línea.
4	El material está en el área establecida.
5	Los insumos estan siendo entregados.

Tabla 3. 16 Escala de evaluación

EXCELENTE (5)	BUENO (4)	REGULAR (3)	MALO (2)	NO ACCEPTABLE (1)

Tabla 3. 17 Área de observaciones y acciones propuestas.

ACCIÓN	OBSERVACIÓN

Tabla 3. 18 Área para puntaje.

Puntaje subtotal						Puntaje total			

El formato de la Tabla 3. 13, se utilizó durante tres meses para la evaluación diaria del sistema *Kanban* en la línea, durante este tiempo se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Imprimir un formato de evaluación.
2. Dar recorrido por toda la línea, para observar si los criterios a evaluar se cumplen.
3. Evaluar con la escala del formato y colocar las observaciones de los criterios no cumplidos, posteriormente colocar acciones propuestas para las observaciones anotadas.
4. Capturar en un formato digital los resultados del formato físico y actualizar una gráfica con el puntaje obtenido.
5. Enviar resultados del puntaje y gráfica del mes correspondiente vía correo electrónico.

Para visualizar las evaluaciones realizadas la Tabla 3. 19 y Tabla 3. 20 muestran dos formatos llenados manualmente como evidencia de las evaluaciones diarias en [REDACTED].

Tabla 3. 19 Formato de evaluación del sistema Kanban (evidencia 1).

Evaluación del Sistema Kanban						
Fecha: 29/04/21		Elaboró: [REDACTED]				
Descripción	Excelente (5)	Buena (4)	Regular (3)	Mala (2)	No aceptable (1)	Observaciones
1. El orden de los procesos se respeta				X		
2. La programación de la producción (MGS 1200) se sigue como está establecida			X			
3. Los contenedores establecidos se respetan			X			30 en el área BP 3180 100 piezas
4. No hay material entre pasillos y al centro de la línea			X			en el área BP 3180 100 piezas
5. El material está en área establecida			X			en el área BP 3180 100 piezas
6. Los insumos están siendo entregados		X				
7. Los contenedores vacíos se encuentran en el área establecida		X				
8. No hay basura en el área		X				
9. No hay material innecesario en el área			X			
10. Los lotes de transferencia se respetan. BP3160 120 piezas. BP3180 100 piezas.				X		en el área BP 3180 100 piezas
11. El cambio de insumos está abastecido y ordenado.			X			
12. El lechero se encarga de sus actividades establecidas						en el área BP 3180 100 piezas

Tabla 3. 20 Formato de evaluación del sistema Kanban (evidencia 2).

Evaluación del Sistema Kanban						
Fecha: 29/04/21		Elaboró: [REDACTED]				
Descripción	Excelente (5)	Buena (4)	Regular (3)	Mala (2)	No aceptable (1)	Observaciones
1. El orden de los procesos se está respetando			X			
2. Los contenedores establecidos se respetan			X			-FLSA -Religiosos
3. No hay material entre pasillos y al centro de la línea				X		
4. El material está en área establecida				X		
5. Los insumos están siendo entregados		X				
6. Los contenedores vacíos se encuentran en el área establecida				X		-no permito -no permito -no permito
7. Se cumple con la cantidad máxima de estibas contenedores: Contenedores llenos 5 Contenedores vacíos 6			X			
8. La línea se encuentra limpia, ordenada y libre de basura				X		
9. No hay material innecesario en la línea				X		-individuos -reprocción
10. Los lotes de transferencia se respetan. BP 3160 120 piezas. BP 3180 100 piezas				X		
11. El cambio de insumos está abastecido y ordenado			X			
12. El lechero se encarga de sus actividades establecidas		X				

Los resultados obtenidos de la evaluación durante los tres meses se muestran en las gráficas de la Figura 3. 65 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de abril a Figura 3. 67.

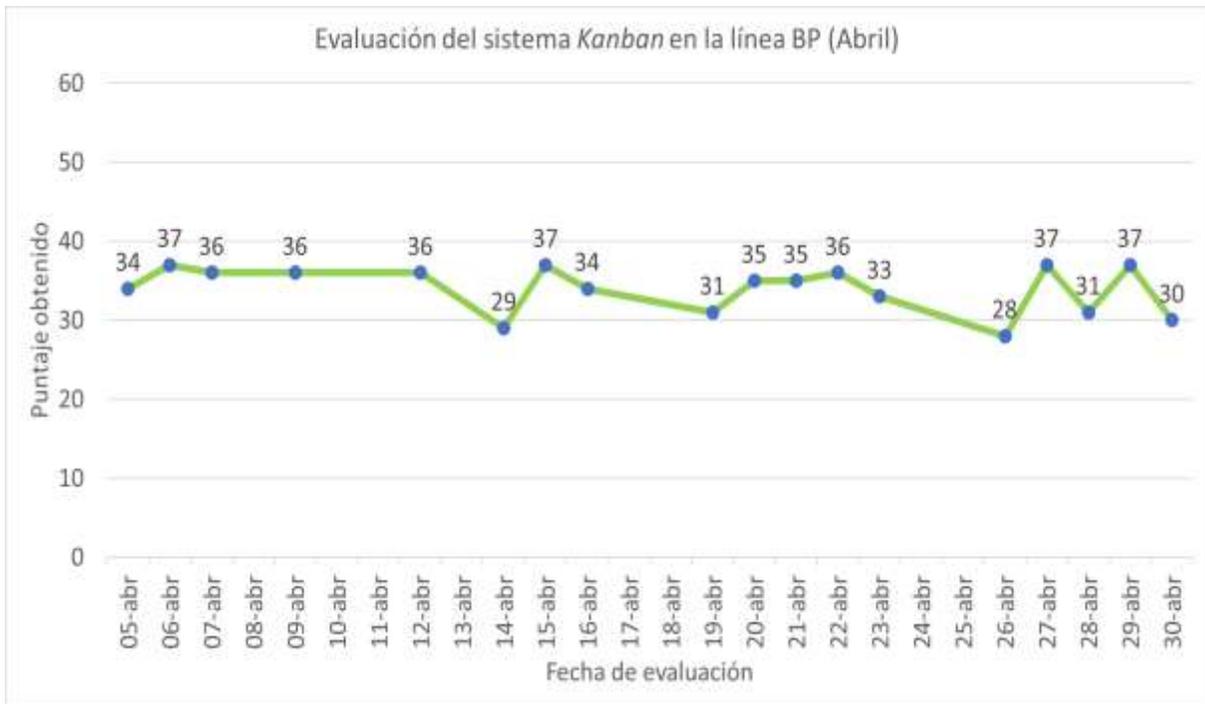


Figura 3. 65 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de abril.

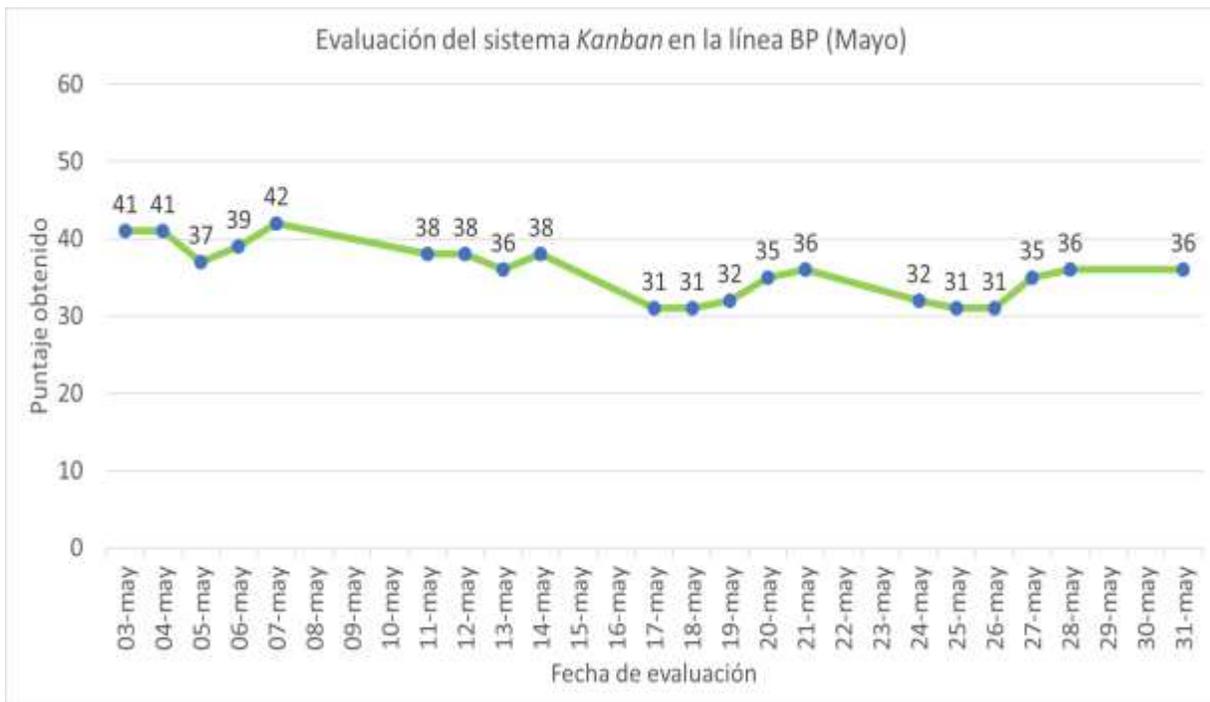


Figura 3. 66 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de mayo.

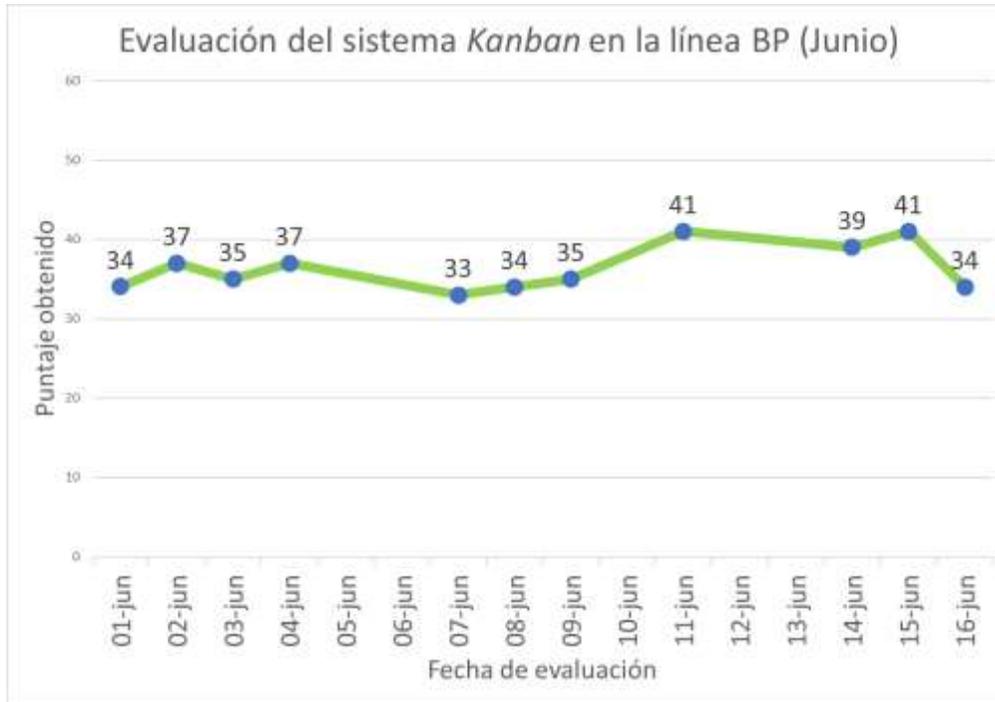


Figura 3. 67 Gráfica de la evaluación del sistema Kanban en [REDACTED] del mes de junio.

3.5.5 Medición de indicadores después de la implantación del sistema Kanban

Para la toma de las mediciones de los indicadores, después de la implantación del sistema Kanban, fue necesario medir durante una semana:

- Los inventarios en proceso de cada área.
- Los tiempos de ciclo de cada proceso.
- Y los tiempos que no agregan valor al producto.

Una vez obtenidas las mediciones correspondientes éstas fueron colocadas en la Tabla 3. 21. En esta tabla se muestran los nombres de cada proceso y los nombres de los indicadores correspondiente para fuera similar a la Tabla 3. 9 (indicadores antes de la implantación del sistema Kanban de la Sección 3.4.3 Indicadores a evaluar antes de la implantación del sistema Kanban) para facilitar la comparación de resultados a realizar en la Sección 3.6 Comparación de indicadores.

Tabla 3. 21 Indicadores después de la implantación del sistema Kanban de la referencia [REDACTED]

Proceso	Inventario en proceso (Δ) piezas	Tiempo de ciclo (TC) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (NVA) seg
Prensa	0	0	0
Pulido	3902	104.85	88.691
<i>Off line</i>	960	146.9	35.620
<i>Crush & Broanch</i>	250	151.185	35.620
Tratamiento térmico (HT)	1440	25.2	0
Abrillantado	1440	20.15	0
<i>Flat grind</i>	1170	600.363	580.840
<i>Debur</i>	190	5.85	4.560
Clip	2	13.374	7.433
Pin	12	19.19	13.250
Preensamble	676	14.822	9.192
Plastisol	42	64.38	6.450
Ajuste	62	23.21	2.540
Empaque	37	32.09	30.284

3.5.6 Descripción de procedimientos del sistema *Kanban* diseñado de cada área de trabajo

La descripción de procedimientos del sistema *Kanban*, que se diseñó para cada área de [REDACTED], inicia en el área de trabajo del último proceso de la línea: empaque.

Los procedimientos, que serán descritos de la Sección 3.5.6.1 Descripción del procedimiento para el área de empaque a la Sección 3.5.6.12 Descripción del procedimiento para el área de prensa, deberán ser aplicados cada vez que se requiera material en alguna área de trabajo.

3.5.6.1 Descripción del procedimiento para el área de empaque

El área de empaque producirá con base en la meta de producción diaria que establezca el supervisor; el procedimiento a seguir será el siguiente:

1. Tomar una canastilla con material del área de ajuste (Figura 3. 68).
2. Tomar una tijera, inspeccionarla, limpiarla, quitar impurezas y empaquetarlas. Esto se repetirá hasta que se termine el contenido de la canastilla.
3. Una vez vacía la canastilla, se devolverá a ajuste.
4. El producto final se colocará en la tarima asignada (Figura 3. 68).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán tres.

3.5.6.2 Descripción del procedimiento para el área de ajuste

Una vez que el área de empaque devuelva la canastilla, al área de ajuste, los operadores de ajuste deben rellenarla para abastecer nuevamente a empaque. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. El operador uno tomará las tijeras que se encuentran en el área de *plastisol* (Figura 3. 69).
2. Una vez que el operador baje las tijeras las atornillará y las pasará al operador dos.
3. El operador dos ajustará las tijeras e inspeccionará que funcionen correctamente.
4. El operador dos colocará las tijeras en una canastilla.
5. Una vez que la canastilla tenga el lote correspondiente, se colocará en el transportador de rodillos, para que pueda ser tomada por el área de empaque (Figura 3. 69).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán dos.

3.5.6.3 Descripción del procedimiento para el área de preensamble

El área de preensamble será abastecida por el *milk run*. En preensamble el operador debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Cuando el operador de preensamble ya no tenga material tomará contenedores vacíos y se dirigirá al área donde está el material (Figura 3. 70).
2. El operador debe intercambiar contenedores vacíos por llenos.
3. El operador tomará un contenedor de gancho y un contenedor de hoja o *stub*.
4. Una vez que el operador tenga los contenedores llenos los llevará a su mesa de trabajo y los colocará en las bases correspondientes.

5. Posteriormente, el operador deberá preensamblar las tijeras y colocarlas en la rejilla de *plastisol* (Figura 3. 70).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán cuatro (dos lotes de gancho y dos lotes de *stub* o hoja).



Figura 3. 68 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de empaque.

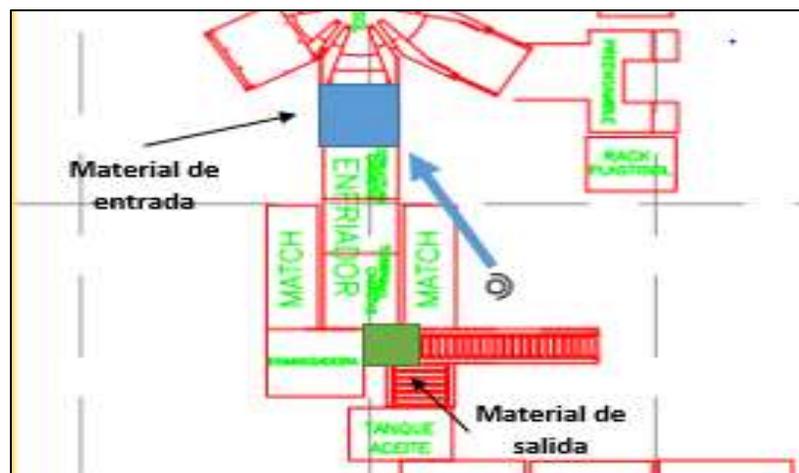


Figura 3. 69 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de ajuste.

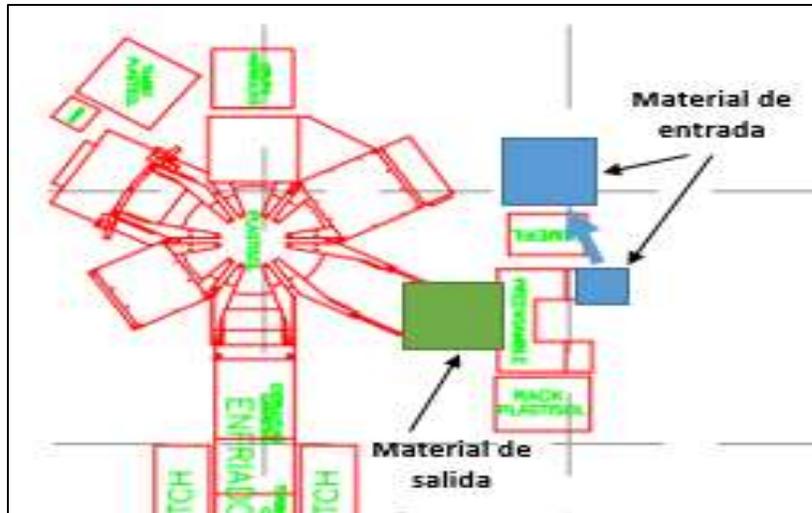


Figura 3. 70 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de preensamble.

3.5.6.4 Descripción del procedimiento para el área de *bevel & sharpen*

El procedimiento para *Bevel & Sharpen* será el siguiente:

1. Cuando el operador ya no tenga material (forjas), deberá tomar el contenedor vacío e intercambiarlo en el área de *clip/pin* (Figura 3. 71)
2. Una vez que el operador que haya intercambiado el contenedor vacío, por uno lleno, deberá llevar el contenedor al área establecida.
3. Deberá procesar el material.
4. Una vez que el material sea procesado, éste debe ser colocado en la tina de antioxidante y posteriormente debe escurrirse.
5. Una vez que el material haya sido escurrido, el operador deberá colocar el material en el área establecida (Figura 3. 71)

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán dos.

3.5.6.5 Descripción del procedimiento para el área de *clip/pin*

El área de *clip/pin* será abastecida por el *milk run*. El procedimiento que debe realizar el operador para *clip/pin* es el siguiente:

1. Cuando el operador ya no tenga material deberá tomar el contenedor vacío.
2. Tomará una base y se dirigirá al área donde se encuentra el material de entrada (Figura 3. 72).
3. Intercambiará el contenedor vacío por uno lleno.
4. Una vez que se tenga el contenedor lleno deberá dirigirse a su lugar y colocar la base del lado izquierdo de donde va a trabajar.
5. Una vez terminado el proceso de *clip/pin*, colocará el contenedor en el área de material de salida (Figura 3. 72).

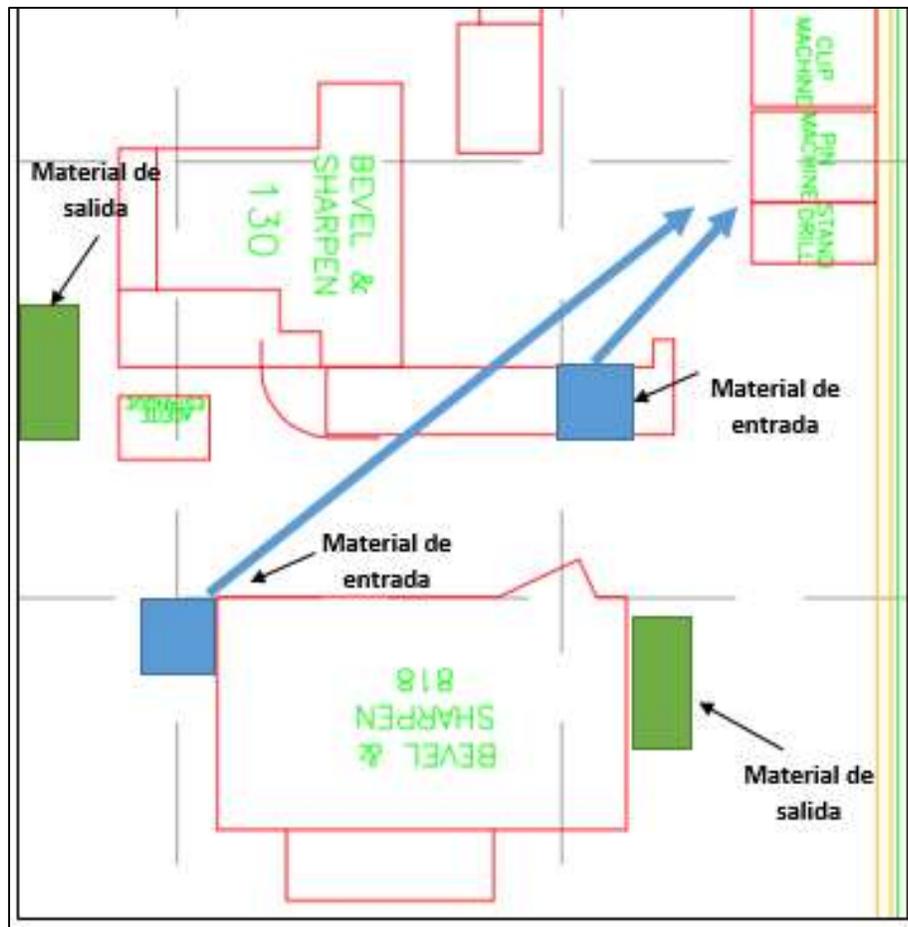


Figura 3. 71 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de bevel & sharpen.

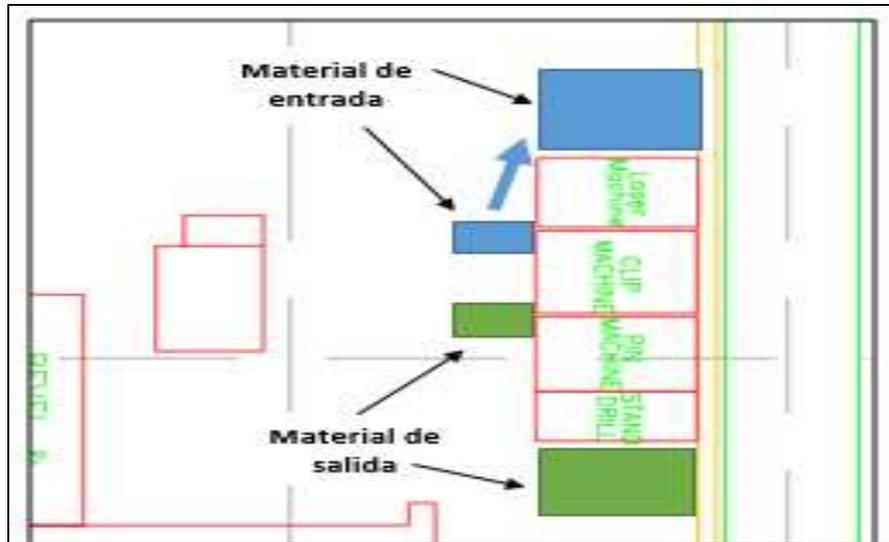


Figura 3. 72 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de clip/pin..

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán cuatro.

3.5.6.6 Descripción del procedimiento para el área de *flat grind*

En el proceso de *flat grind* se tendrá un supermercado que será abastecido por el operador en turno de abrillantando. El procedimiento para *flat grind* será el siguiente:

1. El operador de *flat grind* deberá tomar la base y dirigirse al *rack* (Figura 3. 73).
2. Una vez en el *rack*, tomará una canastilla de gancho y *stub* u hoja (según la referencia).
3. Llevará la base y la colocará en medio de la máquina *flat grind*.
4. Posteriormente vaciará el contenido de la canastilla en el aro correspondiente y colocará la canastilla en la base.
5. Una vez que se tengan las dos canastillas vacías, se llevarán al *rack* y se colocarán en el nivel de salida.
6. Este procedimiento será repetido siempre que se necesite material.

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán dos.

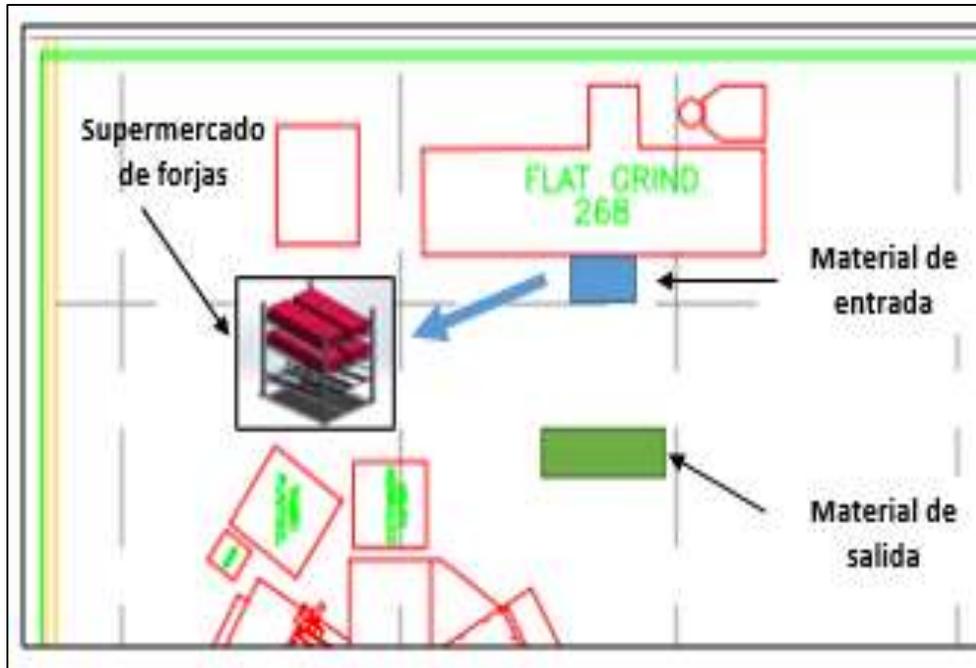


Figura 3. 73 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de flat grind.

3.5.6.7 Descripción del procedimiento para el área de abrillantado

El procedimiento para el área de abrillantado es el siguiente:

1. El operador en turno de abrillantado ingresará lotes de 720 piezas a la tina de abrillantado.
2. Una vez que el proceso de abrillantado hay terminado, el operador deberá armar los lotes para [REDACTED].
3. El operador tomará el carrito con la báscula y lo posicionará debajo de la rampa de las tinas de abrillantado.
4. Tomará una canasta (contenedor asignando) y la colocará sobre la báscula, de tal forma que las forjas caigan dentro de la canasta.
5. Abrirá la reja que mantiene las forjas en la rampa. Dejará caer las forjas a la canasta hasta que tengan el peso indicado.
6. Una vez que la canasta se encuentre con el peso indicado (Tabla 3. 22), el operador tomará la canasta y la colocará en una base.

Tabla 3. 22 Peso del lote propuesto.

Referencia	Gancho (Kg)	Stub (Kg)
██████ (56 piezas/lote)	12.524	10.973

7. Cuando la base se encuentre en su capacidad máxima de canastas, el operador deberá llevar las canastas al área de *flat grind* para rellenar el supermercado de forjas.
8. El supermercado deberá ser llenado al 50% de gancho y 50% de hoja o *stub* (según la referencia).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque será uno.

3.5.6.8 Descripción del procedimiento para el área de tratamiento térmico

El procedimiento para el área de tratamiento térmico es el siguiente:

1. Cuando la canasta de temple que se encuentra en el área de *crush & broach* y *off line* estén llenas, el operador de tratamiento térmico deberá intercambiar la canasta llena por una vacía.
2. La canasta llena la llevará al área de temple.
3. El procedimiento se repetirá siempre que haya canastas de temple llenas.

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque será uno.

3.5.6.9 Descripción del procedimiento para el área de *crush & broach*

El área de *crush & broach* será abastecida por el área de *off line*. El procedimiento para el área es el siguiente:

1. El operador de *crush & broach* tomará el material (ganchos) directamente del contenedor que el operador de *off line* le proporcione.
2. Procesará el material en su área y una vez que haya procesado una pieza (gancho) lo depositará en el área establecida (Figura 3. 74) de la canasta de temple.

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque será uno.

3.5.6.10 Descripción del procedimiento para el área de pre ensamble *off line*

El procedimiento para el área de *off line* será el siguiente:

1. Cuando se tenga contenedores vacíos, el operador de *off line* deberá intercambiar los contenedores vacíos (un contenedor de gancho y otro de *stub* u hoja) por llenos con pulido (Figura 3. 74).
2. El operador procesará el material.
3. Una vez que el material hay sido procesado, el operador deberá colocar el material en las áreas establecidas (Figura 3. 74): la hoja o *stub* en la canasta de temple y el gancho en el contenedor que alimenta al proceso de *crush & broach*.

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán dos.

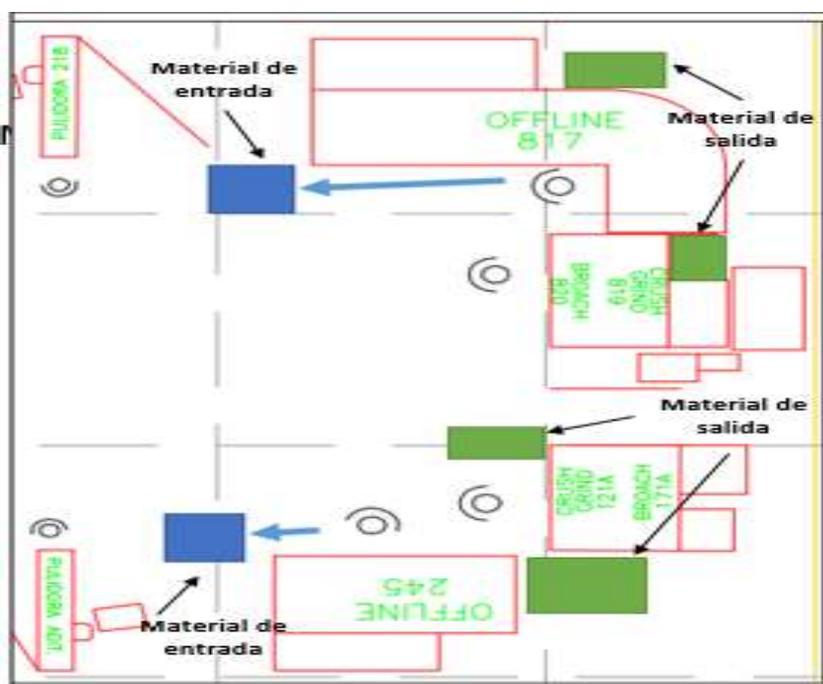


Figura 3. 74 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de off line y crush & broach.

3.5.6.11 Descripción del procedimiento para el área de pulido

El procedimiento para los pulidores para el área de pulido será el siguiente:

1. El pulidor uno abastecerá a todo el proceso de pulido.
2. Cuando el pulidor uno tenga contenedores vacíos los intercambiara por llenos con el área de prensa (Figura 3. 75).
3. Posteriormente, el pulidor uno pulirá una pieza y la pasará al pulidor dos, hasta terminar con el material del contenedor.
4. El pulidor dos pulirá la pieza y la pasará al pulidor tres.
5. El pulidor tres pulirá las piezas que le proporcionen y se encargará de depositar las piezas pulidas en el contenedor final del área establecida (Figura 3. 75).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán dos.

3.5.6.12 Descripción del procedimiento para el área de prensa

El área de prensa contará con un supermercado de forjas que será abastecido por el *milk run*. El procedimiento para el área de prensa será el siguiente:

1. Cuando el operador no tenga material para trabajar deberá tomar una base con llantas.
2. Dirigirse al *rack* (Figura 3. 76) y colocar el contenido de un nivel (8 cajas de forjas) de la referencia en turno sobre la base.
3. Llevará las cajas al área de prensa.
4. Prensará las forjas y las depositará en el contenedor final de su proceso del área establecida (Figura 3. 76).

El número de lotes máximos que se permitirán en el área de empaque serán ocho.

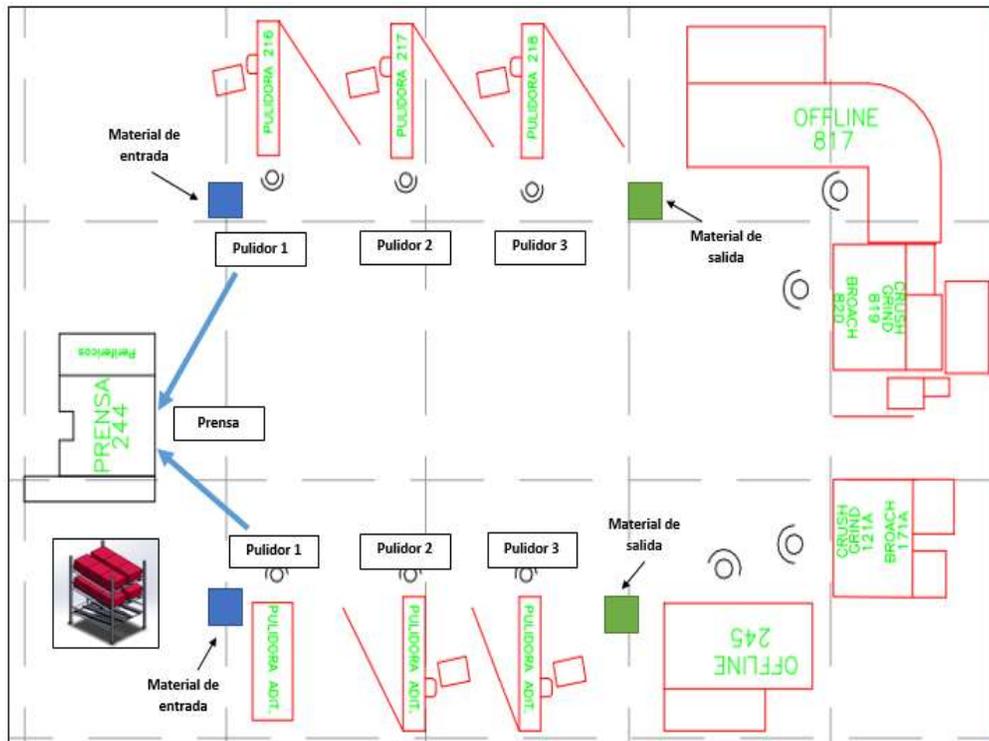


Figura 3. 75 Ubicación de áreas establecidas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de pulido.

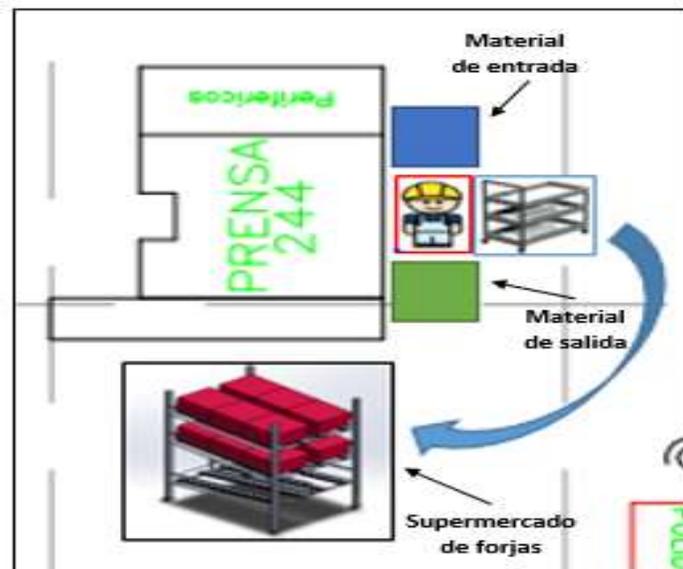


Figura 3. 76 Ubicaciones de áreas para colocación de material de entrada y salida y área de abastecimiento del área de prensa.

3.6 Comparación de indicadores

Para la comparación de indicadores se utilizó la medición de indicadores realizada antes de la implantación (Tabla 3. 9) y la medición de indicadores después de la implantación del sistema *Kanban* (Tabla 3. 21). Para visualizar la comparación de los indicadores se realizó una tabla por indicador:

- La Tabla 3. 23 muestra la comparación del indicador de inventario en proceso antes y después de la implantación del sistema.
- La Tabla 3. 24 muestra la comparación entre el indicador de tiempo de ciclo antes y después de la implantación del sistema.
- La Tabla 3. 25 muestra la comparación del indicador de tiempo que no agrega valor al producto antes y después de la implantación del sistema.

Tabla 3. 23 Comparación del indicador de inventario en proceso de la referencia [REDACTED].

Proceso	Inventario en proceso (antes) (Δ) piezas	Inventario en proceso (después) (Δ) piezas	Reducción piezas	Reducción %
Prensa	1500	-	-	-
Pulido	3000	3902	-	-
<i>Off line</i>	1742	960	782	44.89%
<i>Crush & Broanch</i>	900	250	650	72.22%
Tratamiento térmico (HT)	1440	1440	0	0%
Abrillantado	1440	1440	0	0%
<i>Flat grind</i>	1440	1170	270	18.75%
<i>Debur</i>	1870	190	1680	89.84%
Clip	432	2	430	99.54%
Pin	600	12	588	98%
Preensamble	1380	676	704	51.01%
Plastisol	39	42	-	-
Ajuste	50	62	-	-
Empaque	75	37	38	49.33%

Tabla 3. 24 Comparación del indicador tiempo de ciclo de la referencia [REDACTED].

Proceso	Tiempo de ciclo	Tiempo de ciclo	Reducción seg	Reducción %
	(antes) (TC) seg	(después) (TC) seg		
Prensa	71.12	-	-	-
Pulido	320.68	104.85	215.83	67.30%
<i>Off line</i>	195.75	146.9	48.85	24.96%
<i>Crush & Broanch</i>	197.50	151.185	46.32	23.45%
Tratamiento térmico (HT)	25.23	25.2	-0.03	0.00%
Abrillantado	20.14	20.15	-	-
<i>Flat grind</i>	119.38	600.363	-	-
<i>Debur</i>	0.56	5.85	-	-
Clip	77.61	13.374	64.24	82.77%
Pin	29.83	19.19	10.64	35.67%
Preensamble	41.46	14.822	26.64	64.25%
Plastisol	64.38	64.38	0.00	0.00%
Ajuste	37.58	23.21	14.37	38.24%
Empaque	60.78	32.09	28.69	47.20%

Tabla 3. 25 Comparación del indicador de tiempo que no agrega valor al producto de la referencia [REDACTED].

Proceso	Tiempo que no agrega valor al producto (antes)	Tiempo que no agrega valor al producto (después)	Reducción seg	Reducción %
	(NVA) seg	(NVA) seg		
Prensa	64.87	-	-	-
Pulido	289.26	88.691	200.57	69.34%
<i>Off line</i>	186.10	35.620	150.48	80.86%
<i>Crush & Broanch</i>	181.59	35.620	145.97	80.38%

Tabla 3. 25 Comparación del indicador de tiempo que no agrega valor al producto de la referencia

Proceso	Tiempo que no agrega valor al producto (antes) (NVA) seg	Tiempo que no agrega valor al producto (después) (NVA) seg	Reducción seg	Reducción %
Tratamiento térmico (HT)	0.00	0.000	0.00	0.00%
Abrillantado	0.00	0.000	0.00	0.00%
<i>Flat grind</i>	105.37	580.840	-	-
<i>Debur</i>	0.00	4.560	-	-
Clip	71.57	7.433	64.14	89.61%
Pin	14.37	13.250	1.12	7.79%
Preensamble	28.44	9.192	19.25	67.68%
Plastisol	6.45	6.450	0	0
Ajuste	24.56	2.540	22.02	89.66%
Empaque	33.13	30.284	2.85	8.59%

Es importante mencionar que, al momento de realizar las mediciones, posteriores a la implementación del sistema *Kanban*, se encontraron los siguientes factores:

1. El área de prensa no fue tomada durante las mediciones, debido a que se encuentra parada de manera indefinida, por lo que se colocó un guion en la fila correspondiente en cada tabla de los indicadores posteriores a la implantación del sistema *Kanban*.
2. La medición del área de *flat grind* resultó extremadamente elevada respecto a los tiempos que no agregan valor al producto, porque el operador que se encontró durante las mediciones es un operador nuevo en el área, por lo que le tomó más del doble del tiempo en calibrar los sensores de la máquina o cambiar una rueda abrasiva.

Como resultado de la comparación de indicadores, antes y después de la implementación del sistema *Kanban*, se lograron:

- Reducciones de piezas en el área de *off line, crush & broach, flat grind, debur, clip, pin*, preensamble y empaque, esto está asociado con los procedimientos desarrollados para cada área para el sistema Kanban de la línea.
- Aumento de piezas en el área de pulido, *plastisol* y ajuste. Para el caso del área de pulido el aumento se debió a que en el momento de la medición no se respetó el orden de los procesos, por lo que el proceso siguiente (*off line*) procesaba el material sin haber sido pulido y posteriormente regresaba el material para que fuese pulido, esto provocó un aumento del material en proceso. Para el caso de *plastisol* y ajuste el aumento no fue significativo.
- Disminución del tiempo de ciclo en el área de pulido, *off line, crush & broach, clip, pin*, preensamble, ajuste y empaque.
- Aumento en el tiempo de ciclo del área *flat grind* y *debur*. Para ambos casos se debió a que en el momento de la medición se encontraba un operador nuevo y ambos procesos son atendidos por el mismo operador.
- Disminución en el tiempo que no agrega valor producto en el área de pulido, *off line, crush & broach, clip, pin*, preensamble, ajuste y empaque; esto está asociado con el desarrollo de las actividades para el puesto del *milk run*, ya que la persona encargada de este puesto realiza las actividades que antes realizaba en operador, pero que no agregan valor al producto.
- Aumento en el tiempo que no agrega valor producto en el área de *flat grind* y *debur* debido a que se encontraba un operador nuevo como ya se había mencionado.

3.7 Aplicación de prueba de hipótesis

Para verificar si hubo alguna mejora significativa en el inventario en proceso se realizó una prueba de hipótesis. Para la aplicación de la prueba de hipótesis se realizaron los siguientes tres ajustes a los datos obtenidos por los indicadores:

1. El inventario de prensa no se tomó en cuenta porque la medición después de la implementación del sistema *Kanban* no pudo ser tomada debido a que el área de prensa se encontraba inhabilitada.

2. El inventario de pulido no se utilizó para la prueba de hipótesis debido a que al momento de la segunda medición los operadores del área no respetaron el orden de los procesos, es decir, no cumplieron con los procedimientos establecidos del sistema *Kanban*, por lo que se decidió eliminar esa medición.
3. El inventario de abrillantado y de tratamiento térmico no se consideró para la aplicación de la prueba de hipótesis, debido a que estas dos áreas forman parte del proceso de transformación, pero se encuentran fuera de [REDACTED].

Los datos por analizar se muestran en la *Tabla 3. 26 Datos para la aplicación de la prueba de hipótesis*.Tabla 3. 26 con las modificaciones descritas.

Para la aplicación de la prueba de hipótesis se tomó como base la metodología general que propone Arriola (2018) descrita en la Sección 2.5.1 Metodología para la aplicación de una prueba de hipótesis. El procedimiento se muestra a continuación:

1. Elección del parámetro. En este paso se decidió trabajar con las medias de las mediciones tomadas del inventario en proceso, debido a que este es el parámetro más representativo. Las medias por trabajar se muestran al final de la Tabla 3.26.
2. Determinación del tipo de hipótesis. Debido al tipo del problema y de los objetivos de la investigación se decidió utilizar una prueba de hipótesis para la media de los inventarios en proceso, además se identificó que la hipótesis será unilateral superior.

Tabla 3. 26 Datos para la aplicación de la prueba de hipótesis.

Proceso	Inventario en proceso (antes)	Inventario en proceso (después)
	(Δ) piezas	(Δ) piezas
<i>Off line</i>	1742	960
<i>Crush & Broanch</i>	900	250
<i>Flat grind</i>	1440	1170

Tabla 3. 26 Datos para la aplicación de la prueba de hipótesis.

Proceso	Inventario en proceso (antes)	Inventario en proceso (después)
	(Δ) piezas	(Δ) piezas
<i>Debur</i>	1870	190
Clip	432	2
Pin	600	12
Preensamble	1380	676
Plastisol	39	42
Ajuste	50	62
Empaque	75	37
Media	852.8	340.1

3. Elección de la hipótesis nula y alternativa. Se procedió a plantear y elegir a la hipótesis nula, las cuales quedaron de la siguiente manera:

H_0 = El inventario en proceso antes de la implantación del sistema Kanban (M_x) es igual al inventario en proceso después de la implementación del sistema Kanban (M_y).

H_1 =El inventario en proceso antes de la implantación del sistema Kanban (M_x) es mayor al inventario en proceso después de la implantación del sistema Kanban (M_y).

O bien:

- $H_0 = M_x = M_y$
- $H_1 = M_x > M_y$

4. Establecimiento del nivel de significancia. Se decidió trabajar con un nivel de significancia del 5% para la aplicación de la prueba de hipótesis, ya que la empresa lo consideró aceptable.

5. Determinación de la zona crítica o de rechazo. La zona crítica o de rechazo, quedo indicada como:

$$t_0 > t_{\alpha, n_x+n_y-2}$$

Con el nivel de significancia de 5% ($\alpha=0.05$), se procedió a sacar el valor de la zona de rechazo por medio de una hoja de cálculo de Excel

$$t_{0.05,18} = 1.734$$

6. Cálculo del estadístico de prueba. Para calcular el estadístico de prueba se utilizaron los datos tomados del inventario en proceso, con las modificaciones descritas en la Tabla 3. 26 y con ayuda de la Ecuación 3.3 para el cálculo del estadístico de prueba.

$$t_0 = \frac{\bar{x} + \bar{y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} = \frac{852.8 + 340.1}{591.588093 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 1.937888989 \approx 1.938 \dots \dots \dots (3.3)$$

Para el cálculo del estadístico de prueba se requirió el cálculo de la varianza poblacional. Este cálculo se muestra en la Ecuación 3.4:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_x-1)S_x^2 + (n_y-1)S_y^2}{n_x+n_y-2}} = \sqrt{\frac{(10-1)511,450.622 + (10-1)188,502.322}{10+10-2}} = 591.588093 \dots \dots \dots (3.4)$$

7. Comparar el estadístico de prueba contra la zona crítica. A partir del resultado anterior se verificó si se cumplía la decisión, por lo que la comparación quedó de la siguiente manera:

$$t_0 > t_{\alpha, n_x+n_y-2} \rightarrow 1.938 > 1.734$$

∴ Con base a la evidencia muestral, se rechaza H0

8. Interpretar los resultados. Gracias a la comparación de resultados del estadístico de prueba contra la zona crítica se pudo observar que el valor del estadístico de prueba es mayor que la zona crítica, por lo que H0 se rechaza, con base en esto se concluye que el

inventario en proceso antes de la implantación del sistema *Kanban* es mayor al inventario en proceso después de la implantación del sistema *Kanban* (Figura 3. 77).

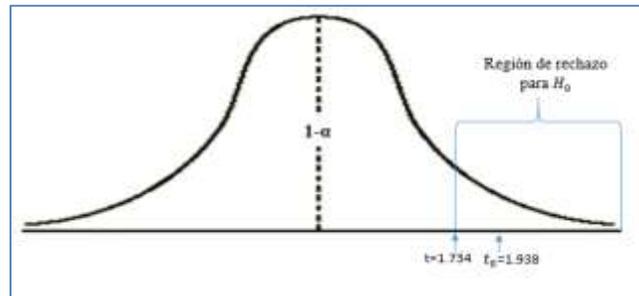


Figura 3. 77 Región de rechazo para la hipótesis de acuerdo con los valores.

3.8 Conclusión

Este capítulo fue clave para el desarrollo del proyecto porque se aplicó la metodología planteada en la Sección 3.1 Metodología, con la finalidad de cumplir el objetivo de diseñar e implementar un sistema *Kanban* para mejorar el proceso de una línea de producción en una empresa manufacturera de ██████████ Veracruz, que se dedica a la producción de herramientas manuales. Con la aplicación de la metodología fue posible poner en práctica los principios de *lean manufacturing*, *just in time*, *value stream mapping* y *Kanban* los cuales permitieron realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa, la creación de un mapa de la cadena de valor de estado presente, el diseño de un sistema *Kanban* para una línea de producción y su implementación, la comparación de indicadores antes y después de la implementación del sistema y, finalmente, la aplicación de una prueba de hipótesis, la cual determinó que el proyecto mejoró significativamente el proceso de la línea de producción.

Análisis de resultados

Una vez aplicada la metodología propuesta a lo largo de todo el trabajo de tesis, se realizó el siguiente análisis de resultados de las aportaciones obtenidas en el capítulo 3:

1. Se realizó un diagnóstico de la empresa, donde se desarrollaron las siguientes actividades:
 - a. Se llevaron a cabo recorridos por toda la planta de producción.
 - b. Se realizaron entrevistas con el personal.
 - c. Se realizó una reunión con el gerente de planta de [REDACTED].

El conjunto de estas tres actividades dio como resultado la delimitación del área a trabajar dentro de la empresa, de esta manera se pudo seleccionar la línea de mayor volumen: [REDACTED].

2. Se creó un mapeo de la cadena de valor del estado presente, para ello se realizó:
 - a. Un análisis producto-volumen para identificar las referencias clave con las que se trabajaría de [REDACTED], con el cual se pudo determinar las dos referencias a mapear:
 - [REDACTED].
 - [REDACTED].
 - b. Se realizó un estudio de tiempos de todos los procesos de la línea y se contabilizaron los inventarios en proceso de cada área.
 - c. Las mediciones fueron colocadas en las cajas de datos del VSM, del proceso correspondiente.
3. Se diseñó el sistema *Kanban* para la línea de [REDACTED], para lo cual se realizó lo siguiente:
 - a. Se seleccionó la referencia para la cual implantar el sistema *Kanban*: [REDACTED].
 - b. Se desarrollaron propuestas de mejora en [REDACTED], basados en los conceptos que establece la técnica *Kanban*.
 - La primera propuesta fue la reducción de tamaño de lote de la materia prima comprada.
 - La segunda propuesta fue la colocación de supermercados en puntos estratégicos de [REDACTED]. Con ayuda del software de la empresa

solidworks se diseñaron los supermercados para el área de prensa y *flat grind*.

- c. Se decidió que indicadores se utilizarían para el proyecto:
 - Inventario en proceso.
 - Tiempo de ciclo.
 - Tiempo que no agrega valor al producto.
- d. Se tomaron las mediciones, de los indicadores seleccionados, del VSM de estado actual, realizado antes de la implantación del sistema *Kanban*.
- e. Se desarrollaron las actividades para el puesto de *milk run*, para esto se describieron las actividades de las que se encargaría la persona en turno. De las actividades descritas se coordinó:
 - El abastecimiento de insumos.
 - El abastecimiento de forjas.
- f. Se realizó la adaptación de reglas del sistema *Kanban* para [REDACTED], reglas basadas en los conceptos *Kanban*.
- g. Se realizó el diseño del procedimiento para armado de lotes para [REDACTED].
- h. Se realizó la descripción de procedimientos, del sistema *Kanban* diseñado, de cada área de trabajo, para el cual se tuvo como base los principios de *lean manufacturing*, *just in time* y sistema *pull*:
 - Empaque.
 - Ajuste.
 - Preensamble.
 - *Bevel & sharpen*.
 - *Clip/pin*.
 - *Flat grind*.
 - Abrillantado.
 - Tratamiento térmico.
 - *Crush & broach*.
 - *Off line*.
 - Pulido.
 - Prensa.

4. Se implantó el sistema *Kanban* diseñado para [REDACTED], para lo cual se desarrollaron los siguientes puntos:
 - a. Implantación de propuestas de mejora en [REDACTED].
 - Se logró la reducción del tamaño de lote de la materia prima comprada de lotes de 2000 piezas/cajón a 130 piezas/caja para el *stub* y 1500 piezas/cajón a 100 piezas/caja para el gancho.
 - Los supermercados fueron colocados en los puntos asignados de [REDACTED].
 - b. Se implantaron las actividades del puesto del *milk run*:
 - Para el abastecimiento de insumos se realizaron herramientas de apoyo para la persona encargada del puesto y se le capacitó en las actividades a realizar.
 - Para el abastecimiento de forjas se capacitó a la persona encargada del puesto.
 - c. Se implantaron las adaptaciones de las reglas del sistema *Kanban* para [REDACTED], las cuales se dieron a conocer por medio de capacitaciones a los operadores de la línea.
 - d. Se Implantaron los procedimientos del sistema *Kanban* diseñado de cada área de trabajo, para lo que se realizaron dos capacitaciones a todo el personal de [REDACTED].
 - e. Se realizó la medición de indicadores después de la implantación del sistema *Kanban*, para lo que se realizó un estudio de tiempos y se contabilizó el material en proceso después de la implantación del sistema *Kanban*.
5. Se llevó a cabo una prueba de hipótesis para estudiar los resultados de los indicadores medidos.
6. Se realizó la comparación de indicadores tomados antes y después de la implantación del sistema *Kanban*.

Conclusiones

El presente trabajo se desarrolló en una empresa manufacturera dedicada a producción de herramientas manuales, jardinería y poda, específicamente en la línea de producción de mayor volumen, ubicada en [REDACTED] Veracruz.

La necesidad de la empresa por mejorar el proceso de producción de la línea de producción, por medio de la implementación de un sistema *Kanban*, dio paso a la realización de un proyecto para el diseño e implementación de un sistema *Kanban* mediante la siguiente metodología:

1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa [REDACTED].
2. Creación de mapa de la cadena de valor de estado presente, de las referencias a trabajar.
3. Diseño de un sistema *Kanban* que se ajuste a las necesidades de la línea.
4. Implementación de un sistema *Kanban* en [REDACTED].
5. Comparación de indicadores antes y después de la implementación.
6. Validación mediante una prueba de hipótesis.

Los primeros dos pasos permitieron obtener un panorama general de la empresa ya que se realizaron reuniones con el personal, entrevistas y la creación de un mapa de la cadena de valor del estado presente, el cual ayudo en la elección de la referencia clave: [REDACTED].

En el paso tres se diseñó el sistema *Kanban* para toda la línea de producción, el cual incluyó la selección de la referencia clave, el desarrollo de propuestas base para el sistema, la descripción de indicadores a utilizar, el desarrollo de un nuevo puesto de trabajo: *milk run*; y adaptación de reglas.

En el paso cuatro se implementaron los procedimientos desarrollados en el paso 3.

En el paso cinco y seis se realizó la comparación de los resultados antes y después de la implementación y la realización de la prueba estadística, dando como resultado una mejora

significativa en el proceso, es decir, que el diseño e implementación de un sistema *Kanban* en la línea de producción mejora el proceso de producción de la línea.

Recomendaciones

Las recomendaciones generales para el proyecto realizado para [REDACTED] son las siguientes:

- Dar seguimiento a la implantación del sistema *Kanban*, con el formato de evaluación diseñado para el presente proyecto, con base en los procedimientos descritos en la Sección 3.4.5 y 3.4.6.
- Realizar juntas de retroalimentación, con personal de producción, cada mes durante el primer año de implementación del sistema *Kanban*.
- Realizar sanciones al personal cuando no se cumplan los procedimientos y lineamientos descritos en el presente proyecto, sin una justificación válida.
- Dar capacitación continuamente a los operadores sobre la identificación de defectos y errores en las forjas, para evitar que las forjas defectuosas o con algún error pasen al siguiente proceso.
- Colocar supermercado en el área de abrillantado para que el operador de abrillantado pueda armar los lotes y colocarlos en él para, posteriormente, intercambiarlos con el supermercado del área de *flat grind*.
- Balancear los procesos de la línea y mejorar la asignación de personal de la línea.
- Realizar una programación semanal para el área de tratamiento térmico y abrillantado para evitar el desabasto de material y mejorar la asignación de material a los hornos y tinas de abrillantado.
- Comprar un dispositivo de radiofrecuencia o un dispositivo portátil, que maneje en tiempo real el sistema MP para facilitar la entrega de insumos y, conectar el dispositivo a los procesos que son abastecidos por el milk run mediante un botón para mandarle a éste una señal de abastecimiento.

Recomendaciones para para la implementación de un sistema *Kanban* en otras líneas de producción de [REDACTED]:

1. Verificar que la línea esté preparada para un sistema *Kanban*:

- a. Verificar que los procesos estén balanceados.
 - b. Que el orden de los procesos se siga como está establecido.
 - c. Que el personal de trabajo esté distribuido en la línea de la mejor manera.
2. Formar un equipo de trabajo comprometido:
 - Líder de proyecto: Coordinador *lean*.
 - Supervisor de línea.
 - Área de Ingeniería.
 - Área de calidad
 3. Medición de indicadores antes de la implantación.
 4. Colocación de bases para insumos en los diferentes procesos de la línea.
 5. Delimitación y establecimiento de áreas en cada proceso con pintura.
 6. Coordinación de actividades con la persona que ocupará el puesto de milk run.
 - Realizar lista de insumos de todas las referencias que se manejan en la línea.
 - Capacitación teórica y práctica con la persona encargada del puesto de milk run.
 - Entregar herramientas de trabajo a milk run (formato con insumos y carrito para entrega de insumos.
 - Coordinación con almacén para surtido de carrito de insumos.
 7. Determinación de puntos estratégicos para la colocación de supermercados en la línea.
Para el diseño de cualquier supermercado se debe considerar lo siguiente:
 - Espacio disponible.
 - Comentarios de operadores.
 - Altura promedio de operadores que operan la línea.
 8. Adaptación de procedimientos dados en la presente tesis (Sección 3.4.6) para la línea correspondiente.
 9. Capacitación de toda la línea, con cartas compromiso para todos:
 - Operadores de la línea.
 - Operadores de tratamiento térmico y abrillantado.
 - Almacenista.
 - Supervisor.
 - Milk run.

10. Seguimiento diario con el formato de evaluación del sistema Kanban durante los primeros tres meses de implantación y posteriormente semanal.
11. Sanciones al personal cuando se incumpla el procedimiento sin justificación.
12. Tomar mediciones después de la implantación del sistema Kanban.
13. Verificar como está funcionando el sistema en la línea y realizar acciones correctivas al sistema.

Fuentes de información

- Arndt, P. (2005). *Just in Time: El sistema de producción Justo a Tiempo*. GRIN Verlag.
https://books.google.com.mx/books?id=ewbU_AVlbn8C&printsec=frontcover&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Arrijoa Rodríguez, M. L. (2018). *Estadística aplicada a la evaluación de proyectos, Aplicación de software para cálculos estadísticos*.
- Cabrera Calva, R. C. (2011). *VSM: Mapeo del Flujo de Valor. EVSM: Extendido para Cadena de Suministro*. Rafael Carlos Cabrera Calva.
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). *Procesos en flujo Pull y gestión Lean. Sistema Kanban: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. McGraw Hill.
- Hines, W. W., Montgomery, D. C., & Nagore, G. (1993). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*.
- Ingeniería, A. de. (2017). *Ingeniería de manufactura en el siglo XXI: Un enfoque estructural para desarrollo, diseño y manufactura de productos de consumo*.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis; incluye CD*. Pearson educación.
- Lee, Q., & Snyder, B. (2007). *The strategos guide to value stream & process mapping*. Enna Products Corporation.
- Madariaga, F. (2019). *Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*.
- Reza, S. (2017). No Title. *Curso 2007*.
- Schonberger, R. J., & Calvet Pérez, R. (1988). *Técnicas japonesas de fabricación*.
- Statista Research Department. (2021). *La industria manufacturera en México – Datos estadísticos*. <https://es.statista.com/temas/7853/la-industria-manufacturera-en-mexico/>
- Strategos. (2018). *Diez pasos para el diseño efectivo de Kanban*.
- Suzaki, K. (1987). *New manufacturing challenge: Techniques for continuous improvement*. Simon and Schuster.

- Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*.
- Wilson, L. (2010). *How to implement lean manufacturing*. McGraw-Hill Education.
- Arndt, P. (2005). *Just in Time: El sistema de producción Justo a Tiempo*. GRIN Verlag. https://books.google.com.mx/books?id=ewbU_AVlbn8C&printsec=frontcover&source=gs_bse_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Arriola Rodríguez, M. L. (2018). *Estadística aplicada a la evaluación de proyectos, Aplicación de software para cálculos estadísticos*.
- Cabrera Calva, R. C. (2011). *VSM: Mapeo del Flujo de Valor. EVSM: Extendido para Cadena de Suministro*. Rafael Carlos Cabrera Calva.
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). *Procesos en flujo Pull y gestión Lean. Sistema Kanban: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. McGraw Hill.
- Hines, W. W., Montgomery, D. C., & Nagore, G. (1993). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*.
- Ingeniería, A. de. (2017). *Ingeniería de manufactura en el siglo XXI: Un enfoque estructural para desarrollo, diseño y manufactura de productos de consumo*.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis; incluye CD*. Pearson educación.
- Lee, Q., & Snyder, B. (2007). *The strategos guide to value stream & process mapping*. Enna Products Corporation.
- Madariaga, F. (2019). *Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*.
- Reza, S. (2017). No Title. *Curso 2007*.
- Schonberger, R. J., & Calvet Pérez, R. (1988). *Técnicas japonesas de fabricación*.
- Statista Research Department. (2021). *La industria manufacturera en México – Datos estadísticos*. <https://es.statista.com/temas/7853/la-industria-manufacturera-en-mexico/>
- Strategos. (2018). *Diez pasos para el diseño efectivo de Kanban*.
- Suzaki, K. (1987). *New manufacturing challenge: Techniques for continuous improvement*. Simon and Schuster.

Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*.

Wilson, L. (2010). *How to implement lean manufacturing*. McGraw-Hill Education.