

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE CABEZALES, DE LA EMPRESA
METALMECÁNICA MÁQUINAS SANMARTIN**

Por

Valeria Susana Marchant Cortés
Valeria Paz Tomassi González

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil Industrial.

Prof. Guía Aldo Cea Ramírez
Abril de 2015

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi familia, que siempre han sido mi pilar de apoyo y mi ejemplo de esfuerzo y superación en la vida.

También a mis amigos de la Universidad, por ser mi familia, apoyo y paño de lágrimas durante estos seis años en que he estado tan lejos de casa, principalmente a mi compañera de tesis por siempre ayudarme, entregarme cariño y darme una palabra de aliento en el momento necesario.

A mi familia y amigos en general, por nunca olvidarse de mí y siempre confiar en que obtendré todas las metas que me he propuesto en la vida.

A mis profesores y casa de estudio por guiarnos y formarnos en estos años, principalmente a mi profesor guía, que siempre estuvo motivándonos a dar nuestro mejor esfuerzo.

Y finalmente agradezco a la vida que me ha entregado increíbles oportunidades y a las mejores personas que pude haber querido para superar cada obstáculo.

Valeria Marchant Cortés

Agradezco principalmente a mi madre Paola, por ser un pilar fundamental en mi vida, por siempre creer y confiar en mí, en mis capacidades y en mis decisiones. También a mis abuelos, José y Lucila por su apoyo incondicional, gracias a los tres por hacer de mí lo que soy hoy.

A Benjamín, por acompañarme y apoyarme en estos largos años, por darme ese amor incondicional y por ser un pilar fundamental en mi vida.

A mi familia, por siempre estar conmigo, por darme alegrías y apoyo en las situaciones difíciles.

Agradezco a mi compañera de tesis, por elegirme y acompañarme en este proceso tan importante, siempre dando lo mejor, por todas las aventuras compartidas y por el cariño entregado día a día.

A mis amigos en general, por la paciencia, el compromiso, el cariño y las experiencias vividas.

A la Universidad y a los profesores que fueron parte fundamental para mi desarrollo profesional. Específicamente al profesor Aldo, por ser parte de este proceso e impulsarnos siempre a mejorar.

Finalmente, agradezco a Dios por todas las oportunidades que la vida me da y por siempre darme una luz en los momentos difíciles.

Valeria Tomassi González

Índice

Glosario	10
Lista de Ecuaciones.....	12
Lista de Ilustraciones	14
Resumen	17
Abstract	18
Introducción	19
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	20
1.1 Origen del proyecto	20
1.2 Planteamiento del problema	20
1.3 Justificación del proyecto.....	21
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo general	22
1.4.2 Objetivos específicos.....	22
1.5 Metodología a utilizar.....	23
2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN	24
2.1 Identificación de la empresa	24
2.2 Ubicación.....	25
2.3 Misión	25
2.4 Visión.....	25
2.5 Valores y principios.....	26
2.7 Productos	27
3. MARCO CONCEPTUAL.....	31
3.1 Definición de producción y proceso	31
3.2 Siete desperdicios básicos de la manufactura	32
3.3 Definición de la calidad	33
3.3.1 Las 7 herramientas básicas de la calidad	34
3.4 Mejora continua	34
3.5 <i>Lean Six Sigma</i>	36
3.5.1 <i>Lean Manufacturing</i>	37
3.5.1.1 Eficiencia de ciclo según <i>Lean Manufacturing</i>	38

3.5.2	<i>Six Sigma</i>	39
3.5.2.1	Metodología DMAIC	39
3.5.2.2	Herramientas utilizadas en <i>Six Sigma</i>	40
3.5.2.3	Las métricas <i>Six Sigma</i>	41
3.6.1	Definición de simulación	43
3.6.2	Metodología de simulación	45
3.6.3	Clasificaciones de la simulación	46
3.6.4	Simulación de eventos discretos.....	46
3.6.5	Arena.....	47
4.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	53
4.1	Descripción de las etapas del proceso productivo	53
4.1.1	Área de Corte y Dobra	53
4.1.2	Área de Mecanizado.....	55
4.1.3	Área de Perforadora y Fresado	56
4.1.4	Área de Pintura.....	57
4.1.5	Área de Montaje	57
4.2	Modelo <i>Kano</i>	58
4.3	Análisis del comportamiento del proceso productivo.....	58
4.3.1	Identificación de desperdicios	60
4.3.1.1	Productos defectuosos	61
4.3.1.2	Sobreproducción	65
4.3.1.3	Inventario.....	65
4.3.1.4	Exceso de movimiento.....	65
4.3.1.5	Detección de procesos irracionales	67
4.3.1.6	Transporte	67
4.3.1.7	Tiempos de espera	67
4.4	Análisis complementarios	73
4.4.1	Indicadores del proceso.....	73
4.5	Simulación de la situación actual en Arena.....	75
4.5.1	Modelo conceptual	75
4.5.1.1	Objetivo del modelo	75
4.5.1.2	Supuestos y limitaciones del sistema	76

4.5.1.3	Clasificación de los componentes del sistema	77
4.5.1.4	Relaciones entre los componentes del sistema	81
4.5.1.5	Representación formal del modelo conceptual	83
4.5.1.5.1	Modelo del sistema.....	83
4.5.1.5.2	Entidades del sistema	83
4.5.1.5.3	Procesos del sistema	83
4.5.1.5.4	Recursos del sistema	84
4.5.1.5.5	Variables del sistema	84
4.5.1.5.6	Atributos del sistema	85
4.5.1.6	Datos para el modelo.....	85
4.5.1.6.1	Distribuciones de probabilidad de los procesos.....	86
4.5.1.6.2	Distribuciones de probabilidad de los tiempos de espera.....	86
4.5.1.6.3	Distribuciones de probabilidad del transporte de las órdenes.....	87
4.5.1.7	Patrones esperados del comportamiento del modelo	88
4.5.1.8	Cálculo del número óptimo de simulaciones.....	88
4.5.2	Modelo computacional.....	89
4.5.2.1	Estructura del modelo de simulación	90
4.5.2.2	Datos de entrada	90
4.5.2.3	Descripción de módulos	90
4.5.2.4	Verificación del modelo.....	93
4.5.2.5	Análisis de resultado y validación del modelo.....	93
4.6	Conclusiones del análisis.....	95
5.	PROPUESTAS DE MEJORAS	97
5.1	Factores del problema	97
5.1.1	Procedimientos para solucionar los factores del problema	98
5.1.1.1	Tratamiento para corregir el factor 1: Número de piezas perdidas y reprocesos.....	98
5.1.1.2	Tratamiento para corregir el factor 2: Cantidad de días que esperan las órdenes a ser procesadas	103
5.1.1.3	Tratamiento para corregir el factor 3: Tiempo de <i>setup</i> en el área de Mecanizado.....	108
5.2	Escenarios para experimentación.....	115
5.2.1	Simulación de los escenarios	115

5.2.1.1	Simulación escenario 1.....	116
5.2.1.2	Simulación escenario 2.....	116
5.2.1.3	Simulación escenario 3.....	116
5.2.1.4	Simulación escenario 4.....	117
5.2.1.5	Simulación escenario 5.....	117
5.2.1.6	Simulación escenario 6.....	117
5.2.1.7	Simulación escenario 7.....	117
5.2.2	Comparación de los resultados de las simulaciones.....	117
6.	MECANISMOS DE CONTROL.....	125
6.1	Control de la propuesta de mejora.....	125
7.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	128
7.1	Análisis de costos de la situación actual.....	128
7.2	Análisis de costos de la propuesta de mejora.....	130
7.3	<i>PayBack</i> de la propuesta de mejora en el proyecto.....	132
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
	Bibliografía.....	136
	ANEXO I: Las siete herramientas básicas de la calidad.....	138
	ANEXO II: Herramientas de la mejora continua.....	139
	ANEXO III: Conversión de fracción defectuosa a nivel Sigma.....	142
	ANEXO IV: Tablas de tiempo de agregación y preparación para cada orden, separados por área.....	144
	ANEXO V: Distribuciones de los datos de entrada.....	150
	ANEXO VI: Tablas de tiempo de espera total para cada orden y separados por máquinas.....	154
	ANEXO VII: Distribución Tiempos de Espera.....	157
	ANEXO VIII: Modelo Computacional en el Software Arena.....	159
	ANEXO IX: Informe Arena Situación Actual.....	160
	ANEXO X: Informe Arena Propuesta de Mejora.....	167

Glosario

- **Productividad:** Es el cociente entre la producción, ya sea bienes o servicios, y los factores productivos como los recursos de trabajo o capital (Heitzer y Render, 2007, p16).
- **Valor agregado:** Se habla de valor añadido cuando se realizan actividades que tienen como objetivo transformar las materias primas a un estado superior, por el cual el cliente está dispuesto a pagar (Juan Carlos Hernández y Antonio Vizán, 2013).
- **Desperdicios:** Aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios (Juan Carlos Hernández y Antonio Vizán, 2013).
- **Defecto o Inconformidad:** Cualquier componente que no se encuentra dentro de las especificaciones de los clientes (Iván Garcerant, 2008).
- **Retrabajo:** Esfuerzo adicional necesario para la corrección de una inconformidad en algún producto (Iván Garcerant, 2008).
- **Defectos por millón de unidades:** medida de la eficiencia de un proceso, su significado literal es cuantos defectos se presentan por un millón de oportunidades (Técnica del “*Six Sigma*” para la mejora de la calidad).
- **Índice de capacidad del proceso (Cp):** cálculo estadístico sobre la capacidad de un proceso para producir un resultado dentro de los límites definidos (Capacidad de procesos).
- **Costo de mala calidad (COPQ):** costos asociados a los retrabajos, al desperdicio, a las soluciones, a la prevención y a la evaluación. Representado por el porcentaje de las ventas totales (Frank Rudisill y Steve Druley, 2004).
- **LSS:** Sigla para referirse a *Lean Six Sigma*.

- **CTQ:** *Critical to quality*.
- **PPM:** Sigla para referirse a partes por millón.
- **FTY (*First Time Yield*):** Fracción de elementos fabricados “bien a la primera, sin ningún defecto” (Arturo Ruiz-Falcó Rojas, 2009).
- **Tiempo de *Setup*:** Es aquel tiempo relacionado a la preparación de una máquina para realizar una operación diferente y cumplir con todas las especificaciones del cliente (Reducción del tiempo de *setup* (S.M.E.D)).
- **KPI (*Key performance indicator*):** Es una medida del nivel de desempeño de un proceso, normalmente expresado en porcentaje (Carlos Cano Fernández, 2013).

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Eficiencia de ciclo.....	39
Ecuación 2 Defectos por unidad.....	42
Ecuación 3 Defectos por oportunidad.....	42
Ecuación 4 Defectos por millón de oportunidades.....	42
Ecuación 5 Función de densidad de la distribución <i>Weibull</i>	50
Ecuación 6 Función para x de la distribución <i>Weibull</i>	50
Ecuación 7 Función para la distribución Uniforme.....	51
Ecuación 8 Función de la distribución Exponencial.....	51
Ecuación 9 Función de la distribución <i>Gamma</i>	52
Ecuación 10 DPU órdenes erradas.....	64
Ecuación 11 DPO órdenes erradas.....	64
Ecuación 12 DPMO órdenes erradas.....	64
Ecuación 13 DPU órdenes pérdidas.....	66
Ecuación 14 DPO órdenes pérdidas.....	66
Ecuación 15 DPMO órdenes pérdidas.....	66
Ecuación 16 DPU tiempo de <i>setup</i>	72
Ecuación 17 DPO tiempo de <i>setup</i>	72
Ecuación 18 DPMO tiempo de <i>setup</i>	73
Ecuación 19 KPI Órdenes no conforme.....	74
Ecuación 20 KPI Cumplimiento de <i>Setup</i>	74
Ecuación 21 KPI Órdenes perdidas.....	74
Ecuación 22 KPI Cumplimiento entrega.....	74
Ecuación 23 KPI Cumplimiento esperas.....	74
Ecuación 24 Teorema de Tchebycheff.....	89
Ecuación 25 Cálculo del número óptimo de simulaciones.....	89
Ecuación 26 <i>Takt Time</i> de Centro de Mecanizado.....	105
Ecuación 27 DPU órdenes erradas.....	126
Ecuación 28 DPO órdenes erradas.....	126
Ecuación 29 DPMO órdenes erradas.....	126
Ecuación 30 DPU tiempos de <i>setup</i>	126
Ecuación 31 DPO tiempos de <i>setup</i>	126
Ecuación 32 DPMO tiempos de <i>setup</i>	126
Ecuación 33 DPU órdenes perdidas.....	126
Ecuación 34 DPO órdenes perdidas.....	126
Ecuación 35 DPMO órdenes perdidas.....	126
Ecuación 36 <i>Takt Time</i>	140
Ecuación 37 <i>Pitch</i>	140

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Demanda anual de Paletizadoras	21
Gráfico 2 Número de órdenes procesadas en Corte y Dobra.	54
Gráfico 3 Número de órdenes procesadas en Mecanizado.	55
Gráfico 4 Número de órdenes procesadas en Perforadora y Fresado.	56
Gráfico 5 Diagrama de Pareto órdenes no conformes.	64
Gráfico 6 Diagrama de Pareto tiempos de espera.	70
Gráfico 7 Tiempos de <i>Setup</i> vs Tiempos de agregación de valor.....	71
Gráfico 8 Carta de control de tiempos de <i>setup</i> Mecanizado.	72

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Unidad de Caxias do Sul.	24
Ilustración 2 Ubicación de la empresa.	25
Ilustración 3 Organigrama de la empresa.	26
Ilustración 4 Organigrama del área.....	27
Ilustración 5 Paletizadora.....	28
Ilustración 6 Despaletizadora.....	28
Ilustración 7 Transportadora.	29
Ilustración 8 Envolvedora.....	29
Ilustración 9 Sistema de producción según Deming.....	31
Ilustración 10 Circulo de Deming.	35
Ilustración 11 Estructura de <i>Lean Manufacturing</i>	38
Ilustración 12 Herramientas utilizadas en DMAIC.	41
Ilustración 13 Flujo de una simulación.	44
Ilustración 14 Panel básico de Arena.....	48
Ilustración 15 Módulos del <i>Advanced Process</i> de Arena.....	49
Ilustración 16 Formas que adquiere la distribución <i>Weibull</i>	50
Ilustración 17 Mapa del Proceso.....	53
Ilustración 18 Diagrama de Ishikawa Órdenes no conformes.....	62
Ilustración 19 Diagrama de Ishikawa Tiempo de espera.	68
Ilustración 20 Flujo del proceso de fabricación de las órdenes del cabezal.....	80
Ilustración 21 Lay out de la fábrica estudiada.	82
Ilustración 22 Ubicación para aplicación de 5S.....	102
Ilustración 23 Comparación entre tipo de producciones.....	107
Ilustración 24 Método de trabajo Mecanizado situación actual.....	110
Ilustración 25 Situación sin <i>SMED</i> vs Situación con <i>SMED</i>	112
Ilustración 26 Método de trabajo propuesta de mejora.....	114
Ilustración 27 Casillero de <i>Heijunka</i>	127
Ilustración 28 Conversión de Fracciones Defectuosas a Nivel Sigma.	142
Ilustración 29 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Chorro de Agua.	150
Ilustración 30 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Laser.....	150
Ilustración 31 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Sierra.	151
Ilustración 32 Distribución de probabilidad para el proceso de Mecanizado.....	151
Ilustración 33 Distribución de probabilidad para el proceso de Perforadora.	152
Ilustración 34 Distribución de probabilidad para el proceso de Fresado.....	152
Ilustración 35 Distribución de probabilidad para el proceso de Centro de Mecanizado.	153
Ilustración 36 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera de Mecanizado.....	157
Ilustración 37 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera del Centro de Mecanizado.	157
Ilustración 38 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera Perforadora.	158
Ilustración 39 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera Fresadora.	158
Ilustración 40 Modelo Computacional.....	159

Lista de Tablas

Tabla 1 Visiones de la calidad.	34
Tabla 2 Valores de los niveles de desempeño en el <i>Six Sigma</i>	43
Tabla 3 Niveles sigma y costo de la calidad.	43
Tabla 4 Módulos del panel básico de Arena.	48
Tabla 5 Modelo <i>Kano</i>	58
Tabla 6 Cuadro resumen datos.	60
Tabla 7 Órdenes no conformes.	61
Tabla 8 Causas raíces de las órdenes no conformes.	63
Tabla 9 Aplicación herramienta 5W+1H.	66
Tabla 10 Causas raíces de los tiempos de espera de materiales a ser procesados.	69
Tabla 11 Indicadores de control del proceso.	74
Tabla 12 Cálculo KPI's situación actual	75
Tabla 13 Distancias entre máquina y máquina en metros.	81
Tabla 14 Descripción de los módulos utilizados en el modelo computacional.	90
Tabla 15 Etiquetas para identificar la conformidad de las piezas de las órdenes.	101
Tabla 16 Cantidad de órdenes por proyecto.	104
Tabla 17 Cantidad de órdenes en Centro de Mecanizado.	104
Tabla 18 Producción en Centro de Mecanizado.	105
Tabla 19 <i>Pitch</i> y Demanda diaria en Centro de Mecanizado.	106
Tabla 20 Producción Nivelada en Centro de Mecanizado.	107
Tabla 21 Órdenes procesadas por máquina.	118
Tabla 22 Colas generadas en cada escenario.	120
Tabla 23 Tiempos de espera de las órdenes.	122
Tabla 24 Tiempo total de ciclo.	123
Tabla 25 Matriz Escenarios vs Factores.	123
Tabla 26 KPI'S para la Propuesta de Mejora.	125
Tabla 27 Niveles Sigma para la Propuesta de Mejora.	126
Tabla 28 Costos promedio por área en pesos.	128
Tabla 29 Horas Utilizadas en la Situación Actual.	129
Tabla 30 Tiempos de espera situación actual	129
Tabla 31 Costos para la situación actual de la empresa.	129
Tabla 32 Horas Utilizadas en la Propuesta de Mejora.	130
Tabla 33 Costos propuesta de mejora.	131
Tabla 34 Costos para la propuesta de mejora.	131
Tabla 35 <i>PayBack</i>	132
Tabla 36 Herramientas básicas de la calidad.	138
Tabla 37 Herramientas de la mejora continua.	139
Tabla 38 Tabla de datos para el área de Corte y Dobra.	144
Tabla 39 Tabla de datos para el área de Mecanizado.	147
Tabla 40 Tabla de datos para el área de Perforado y fresado.	148
Tabla 41 Tabla de datos de los tiempos de espera total en el proceso para cada orden. ...	154

Tabla 42 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en el área de Mecanizado.	155
Tabla 43 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina perforadora.....	155
Tabla 44 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina fresadora.....	156
Tabla 45 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina centro de mecanizado.	156

Resumen

Este trabajo de memoria se desarrolló en la empresa “Máquinas Sanmartin”, la cual se dedica a la fabricación de maquinaria utilizada principalmente en la industria de bebidas.

El problema identificado, luego del estudio del proceso de fabricación de cabezales de la máquina paletizadora, radica en el incumplimiento de los plazos de entrega convenidos con los clientes, lo que representa pérdidas tanto económicas como de imagen para la empresa.

El objetivo de esta memoria se centró en generar una propuesta de mejora que permita disminuir los tiempos de entrega del cabezal para la conclusión de la máquina paletizadora y la tasa de defectos en el producto.

Para analizar el proceso, este proyecto se sustentó en la metodología *Lean Six Sigma*, la cual permitió descubrir que los factores causales del retraso en los tiempos de entrega se debían a la desorganización del proceso en general, elevados tiempos de *setup* en ciertas áreas y los reprocesos de ciertas órdenes debido a la pérdida o mala calidad de las mismas.

Por otro lado, este estudio también se sustentó en la metodología de simulación ejecutada con la herramienta Arena, la cual permitió obtener un modelo de la situación actual de la empresa.

Para establecer la propuesta de mejora se realizaron distintas combinaciones de los factores causales del retraso, con el fin de obtener el escenario que represente mayores beneficios para la empresa.

Gracias a la simulación de la mejora se logró reducir en 67,9% el tiempo de entrega del cabezal de la máquina antes mencionada y en un 15% la tasa de defectos de este producto, además de los costos que representaban para la empresa, los cuales se disminuyeron en 38%.

Palabras Clave: *Lean Six Sigma* – Simulación –Proceso Productivo – Mejora continua - Desperdicios de la manufactura – Nivel Sigma – Herramientas de la calidad – Cabezal.

Abstract

This report was developed in “Máquinas Sanmartin” company. This company dedicates to the manufacture of machinery that is mainly used in the beverage industry.

After studying the palletizing machine heads manufacturing process, the identified problem lies in the breach of delivery times agreed with customers as it means financial losses and reputational damage for the company.

The objective of this report was focused on creating a proposal for improvement which allows reducing the head delivery times for the completion of the palletizing machine and the rate of defects in the product.

In order to analyze the process, this project was based on Lean Six Sigma methodology which led to find that the causal factors of the delay in the delivery times were due to the lack of organization of the overall process, higher setup times in certain areas and rework of some commands due to its loss or poor quality.

Also, the analysis was supported on a simulation executed with the Arena tool, which allowed getting a model of the company's current situation.

With the purpose of establishing an improvement proposal, different combinations of the delay causal factors were done to obtain a scenario that represents greater benefits for the company.

Thanks to the simulation of the improvement it was obtained a 67,9% reduction in the delivery time of the head corresponding to the previously mentioned machine and by 15% defects rate of this product, besides the costs that it meant to the company were reduced in a 38%.

Introducción

Hoy en día, alcanzar una ventaja competitiva para las empresas es de vital importancia, por lo que deben mantenerse en constante mejora. Es por esto, que el proceso de fabricación de productos puede ser uno de los factores claves para obtener ventajas que le permitan a la empresa alcanzar el liderazgo en la industria.

Lean Six Sigma es un modelo que permite la transformación de la actitud organizacional con el fin de generar mejoras continuas para alcanzar las metas definidas. Esta metodología aspira a integrar la eliminación de defectos y aumentar la velocidad de producción, considerando los requerimientos del cliente.

Por otra parte, la simulación se entiende como la reproducción del comportamiento de un proceso real, con el fin de llegar a conclusiones aplicables a dicho proceso. Ésta permite la conjugación de diversos factores, generando distintos escenarios, con el objeto de analizarlos e identificar cuál es el que representa mayores beneficios frente al problema.

Grupo Sanmartin, compuesto por diversas empresas, es uno de los principales fabricantes en el mundo de maquinarias para la industria de bebidas, alimentos y química. Máquinas Sanmartin, Brasil, compañía del Grupo Sanmartin, es una empresa de la rama metalmecánica que fabrica equipamientos conforme con las necesidades y los requerimientos de sus clientes. Sin embargo, debido al gran aumento en la demanda de las máquinas paletizadoras, los procesos han tendido al desorden, generando pérdidas en calidad, aumento de los costos e incumplimiento en los plazos de entrega.

Debido a lo anteriormente mencionado, este trabajo de titulación se centrará en la aplicación de los modelos de gestión Simulación y *Lean Six Sigma*, con el fin de mejorar el proceso productivo de los cabezales de las máquinas paletizadoras, esto proporcionará una ventaja a la empresa, eliminando los defectos, disminuyendo los tiempos de proceso y generando mayor valor para el cliente.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Origen del proyecto

El tema a investigar y desarrollar, surge al desempeñar labores en la empresa metalmecánica Máquinas Sanmartin y al observar la necesidad de disminuir los desperdicios del proceso de fabricación de la máquina paletizadora y cumplir con los plazos de entrega. Esta máquina es la que presenta mayor demanda entre todos los productos fabricados por la organización, es por esto que es de vital importancia la calidad dentro sus procesos.

Al interiorizarse en el proceso de fabricación de esta máquina, se observaron los tiempos de retraso en la entrega de los cabezales, pieza fundamental de las paletizadoras. Dichas demoras son de aproximadamente 2,3 meses (46 días). Este componente es esencial, ya que debido a la falta de éstos, el montaje de la máquina no se puede concluir y por lo tanto, no es posible la entrega del producto final al cliente en las fechas que corresponden.

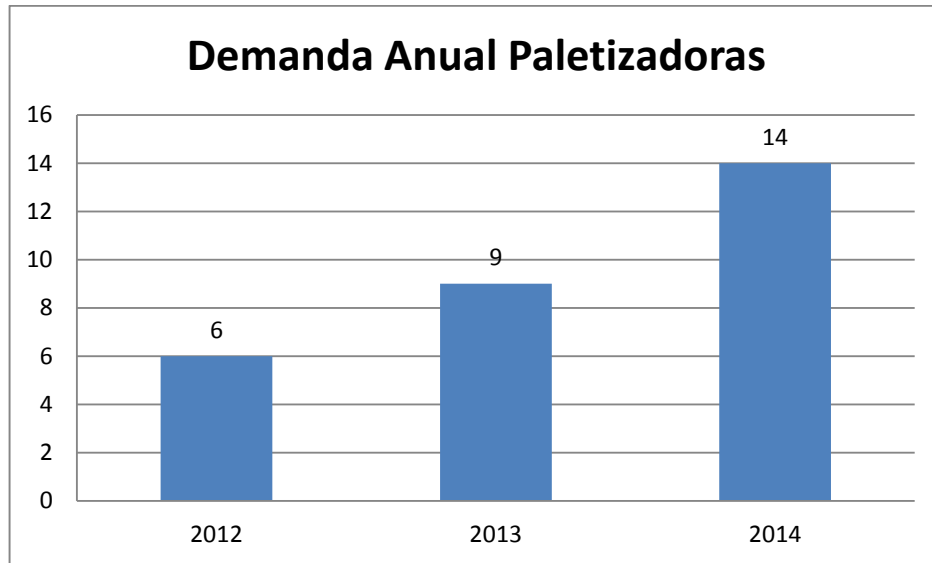
Con el propósito de disminuir los desperdicios y el tiempo de proceso, se propone desarrollar el modelo de Simulación, apoyado de la metodología *Lean Six Sigma*, para la fabricación del cabezal de la máquina paletizadora.

1.2 Planteamiento del problema

La paletizadora es una de las máquinas que fabrica la empresa Máquinas Sanmartin, y al analizar las ventas de los tres últimos años de esta organización se observó que la demanda de este producto ha aumentado en un 133%.

En el gráfico 1 que se presenta a continuación se muestran las ventas de estas máquinas en el año 2012, 2013 y 2014.

Gráfico 1 Demanda anual de Paletizadoras



Fuente: Elaboración propia basado en (Máquinas Sanmartin 2014).

La entrega del producto final al cliente se ha visto afectada debido al retraso en la producción de sus componentes. El cabezal es un componente fundamental en la fabricación de las máquinas paletizadoras y es donde se ha detectado dicho retraso de la línea de producción.

La problemática a tratar en este estudio es el retraso de los componentes de la máquina paletizadora, específicamente en la fabricación del cabezal.

1.3 Justificación del proyecto

Cumplir el plazo de entrega del producto final al cliente es de vital importancia para la organización, ya que genera un lazo de confianza entre las partes, consigue la fidelidad de sus clientes y demuestra el compromiso y proactividad de la empresa, generando una buena imagen frente al mercado y aumentando su competitividad.

Analizar el proceso actual dentro de una empresa permite identificar los problemas y desperdicios que se están generando, con el fin de poder solucionarlos e instaurar una mejora continua dentro de éstos.

El aumento de la demanda en las máquinas paletizadoras ha generado una desorganización en esta línea de producción, lo que provoca pérdidas para la empresa, debido a que esta maquinaria es fundamental en los ingresos de la organización.

Por otro lado, se observa que el montaje de esta máquina se ha detenido, por causa del retraso del cabezal (46 días aproximadamente), lo que es provocado por la inconformidad de órdenes y la pérdida de las mismas, además de los elevados tiempos de espera.

Debido a la importancia que tiene esta máquina en la empresa y a los problemas observados, es que se decide analizar dicho proceso, con el objeto de generar una propuesta de mejora.

1.4Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Generar una propuesta de mejora para el proceso de fabricación de cabezales de la empresa Máquinas Sanmartin, a objeto de reducir los tiempos de producción y la tasa de defectos en el producto.

1.4.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Identificar y describir las etapas del proceso de fabricación de cabezales.
- Analizar el comportamiento del proceso productivo.
- Identificar y medir los desperdicios que presenta la situación actual, analizando sus causas.
- Simular el proceso de fabricación de cabezales.
- Proponer y simular alternativas de mejoras para el proceso de fabricación de los cabezales.
- Formular mecanismos de control para la propuesta de mejora.
- Estimar los costos de la propuesta generada.

1.5 Metodología a utilizar

El estudio a desarrollar en la empresa Máquinas Sanmartin contempla 5 etapas, basadas en la metodología DMAIC, las cuales son:

- a) Definir el proyecto.
 - Definir el propósito del estudio.
 - Reunir información sobre el proceso y sobre los requerimientos de sus clientes.

- b) Medir la situación actual.
 - Recolectar información sobre la situación actual.

- c) Analizar para identificar causas.
 - Identificar las causas raíces de los defectos.
 - Verificarlas con datos.

- d) Propuestas de Mejora.
 - Proponer soluciones que ataquen las causas.
 - Utilizar datos para evaluar los posibles resultados de las soluciones.

- e) Propuestas de Control.
 - Proponer mecanismos para mantener los logros obtenidos, mediante la normalización de sus procesos o métodos de trabajo.
 - Anticipar mejoras futuras y realizar procedimientos para mantener lo aprendido con el proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

2.1 Identificación de la empresa

En el año 1948 fue fundada la empresa Argentina “Manuel Sanmartin S.A.”, la que hoy en día posee dos sedes más, una en Brasil (Máquinas Sanmartin Ltda.) y otra en México (Máquinas Austral S.A.). Las tres conocidas como “Grupo Sanmartin”.

Este grupo de empresas es uno de los principales fabricantes del mundo de máquinas para la industria de bebidas, alimentos y química, y sus esfuerzos están concentrados en la modernización y mejora constante de la empresa a través de una visión dinámica, que ofrece la máxima calidad al cliente.

Cada unidad industrial es dotada de equipamientos de última generación, mano de obra calificada y desenvolvimiento de la mejor tecnología.

En Brasil donde se desarrolló esta investigación, “Máquinas Sanmartin Ltda.” está localizada en Caxias do Sul, barrio Distrito Industrial RS122, Km 72 y su infraestructura posee un total de 300 trabajadores con un área de 12.712m². En la ilustración 1 se visualiza el área de la empresa.

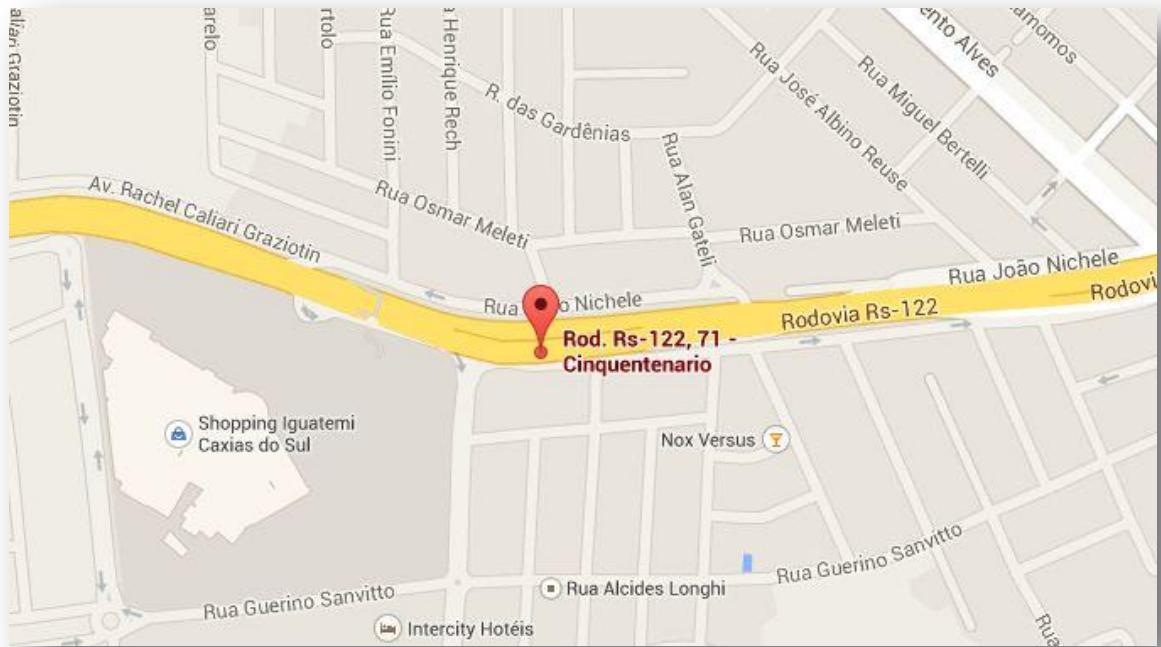
Ilustración 1 Unidad de Caxias do Sul.



Fuente: Street View de Google Maps.

2.2 Ubicación

Ilustración 2 Ubicación de la empresa.



Fuente: Google Maps.

2.3 Misión

Máquinas Sanmartin dice que su misión es lo mismo que su política de calidad, la cual es la que sigue:

“Atender las especificaciones de los clientes, buscando la mejora continua, con costo y calidad competitivos, acompañando la evolución del mercado nacional e internacional”.

2.4 Visión

La visión de esta empresa es:

“Ser líder de mercado en los segmentos que actuamos, con soluciones tecnológicas innovadoras, a través del trabajo en conjunto de las personas, generando lucro”.

2.5 Valores y principios

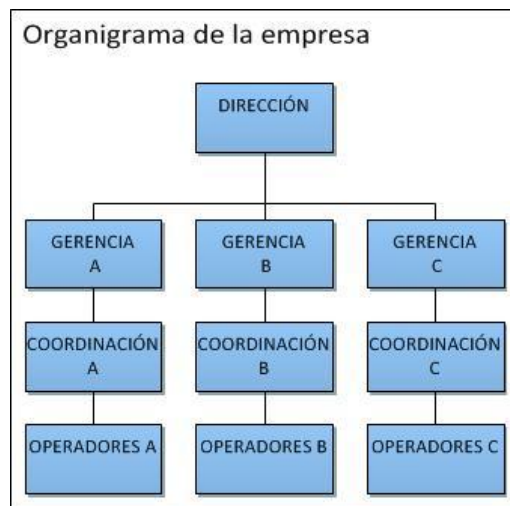
De los valores y principios de la empresa se destacan los siguientes:

- Cliente satisfecho.
- Compromiso mutuo de la empresa con colaboradores y proveedores.
- Rentabilidad como principal medida de desempeño.
- Dominio tecnológico.
- Prioridad en la valoración de los talentos internos.
- Responsabilidad social.

2.6 Organigrama

A continuación se presenta el diagrama organizacional de Máquinas Sanmartín Ltda.

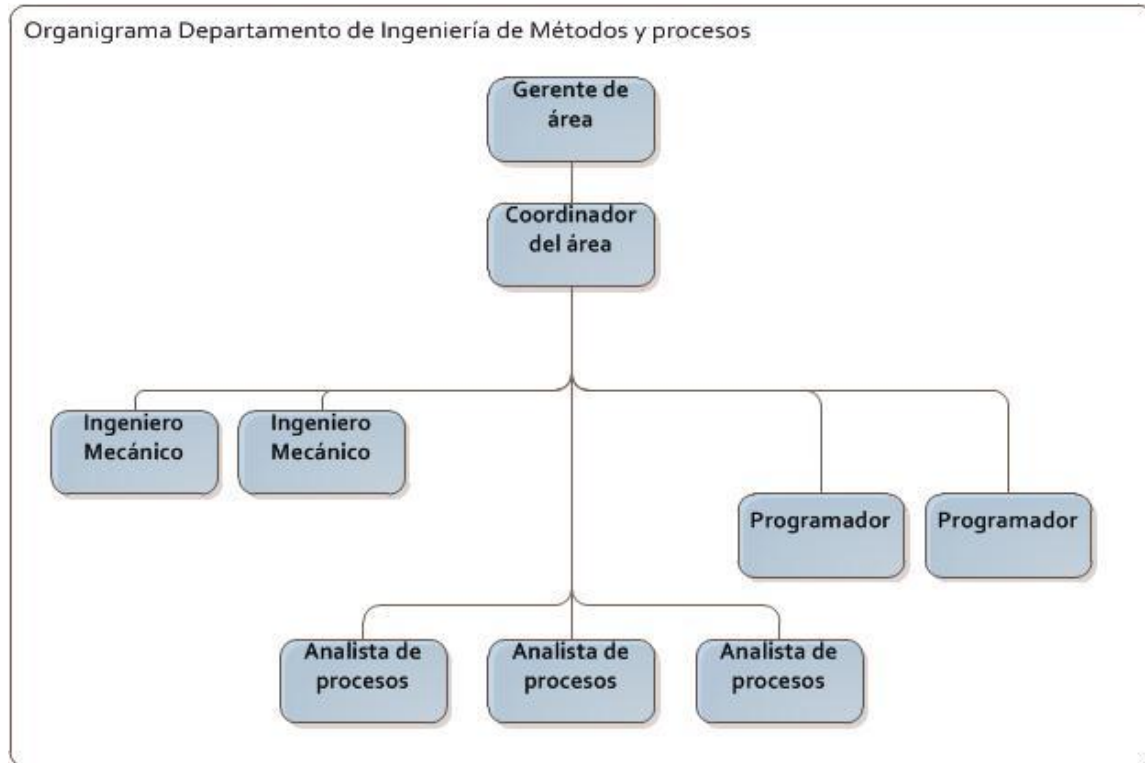
Ilustración 3 Organigrama de la empresa.



Fuente: Máquinas Sanmartín 2014.

La ilustración 4 que se presenta a continuación, muestra el diagrama organizacional del departamento de ingeniería de métodos y procesos, área en que se desarrolló este estudio.

Ilustración 4 Organigrama del área



Fuente: Elaboración propia basado en (Máquinas Sanmartin 2014).

2.7 Productos

La empresa opera en dos segmentos: bebidas y manipulación de materiales. En el segmento de bebidas, la compañía ha estado operando durante más de 30 años, mostrando una completa línea de mezcladoras, transportadoras y envolvedoras con la más alta calidad y tecnología. En el desplazamiento de materiales, la empresa tiene una amplia experiencia en el campo de la química, alimentos y bebidas. Los principales productos fabricados en Caxias Sul son:

- a) Paletizadoras.
- b) Despaletizadoras.
- c) Portadores.
- d) Arandelas y envoltura.
- e) Encajadoras.
- f) Desencajadoras.

g) Arreglador.

En las ilustraciones 5, 6, 7 y 8 se muestran algunos de los productos fabricados por la empresa:

Ilustración 5 Paletizadora.



Fuente: Máquinas Sanmartin (2012).

Ilustración 6 Despaletizadora.



Fuente: Máquinas Sanmartin (2012).

Ilustración 7 Transportadora.



Fuente: Máquinas Sanmartin (2012).

Ilustración 8 Envolvedora.



Fuente: Máquinas Sanmartin (2012).

2.8 Clientes

Dentro de la empresa Máquinas Sanmartin se identifican dos tipos de clientes, internos y externos.

Los clientes externos de esta organización son principalmente las compañías que pertenecen a la industria de bebidas de todo tipo, tanto de fantasías, como alcohólicas.

Los consumidores más importantes que tiene esta empresa son:

- *Ambev*: Compañía de bebidas de las Américas, empresa Brasileña.
- *InBev*: empresa de cervezas Belga-Brasileña.

Por otra parte, los clientes internos se establecen como las distintas áreas dentro de la empresa.

Cuando se están elaborando los componentes de un producto final, se identifica que el cliente interno más importante es el área de montaje, debido a que se deben concluir estos elementos para posteriormente incorporarlos a la máquina que debe ser entregada al cliente externo.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Definición de producción y proceso

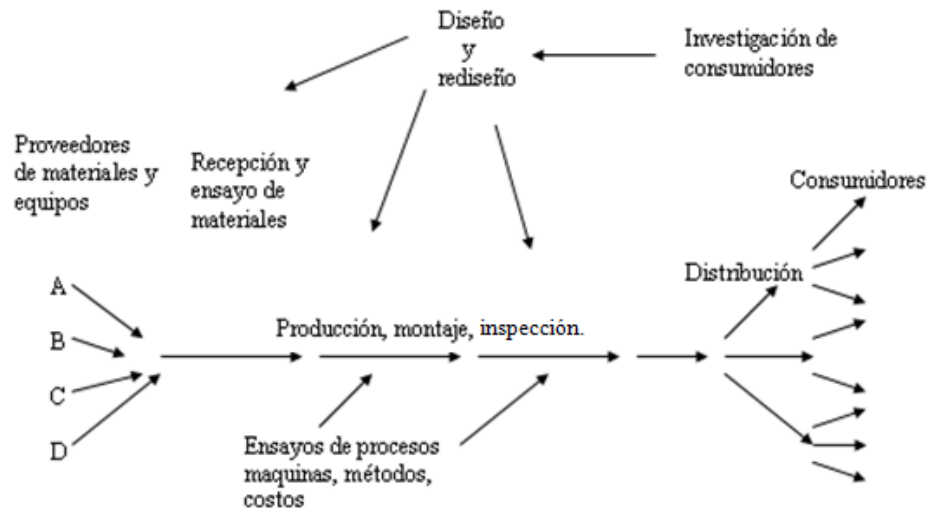
Se denomina producción a cualquier tipo de actividad destinada a la fabricación, elaboración u obtención de bienes y servicios. El conjunto de partes interrelacionadas que existen para alcanzar dichos bienes y servicios se denomina sistema de producción.

Un sistema de producción está compuesto por tres elementos fundamentales, los cuales son:

- Entradas: Materia prima (materiales, información, entre otros).
- Salidas: Productos y/o servicios terminados.
- Procesos: ISO 9000 define a un proceso como *“Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”*.

Para mayor detalle, a continuación se muestra la ilustración 9 que presenta la visión de Deming de un sistema de producción.

Ilustración 9 Sistema de producción según Deming.



Fuente: Albertdiez 2012.

3.2 Siete desperdicios básicos de la manufactura

- 1) Productos defectuosos: Se produce desperdicio al no realizar el producto bien a la primera vez, por lo que éste debe ser desechado o realizado nuevamente, lo que implica un aumento de los costos.
- 2) Sobreproducción: Se refiere al hecho de invertir recursos en algo que no generará ingresos para la empresa (producto no requerido por la empresa u ofrecido en cantidad mayor a la consumida).
- 3) Inventarios: Al tener un exceso de productos terminados se aumentan los costos relacionados al uso del espacio y del personal, la manipulación, etc.
- 4) Exceso de Movimientos: La excesiva manipulación de materiales y los movimientos inapropiados de éstos provocan desgaste o consumo energético, lo que se traducirá en costos para la empresa.
- 5) Detección de procesos irracionales: Representa aquellos procesos que usualmente son heredados, es decir, que se realizan porque siempre se han ejecutado y no se han analizado actualmente si es necesario hacerlo.
- 6) Transporte: Es considerado como un desperdicio de recurso puro, que no entrega valor. Sin embargo es una actividad necesaria, por lo que no se puede eliminar, teniendo que minimizarla.
- 7) Esperas: Se trata del desperdicio relacionado a los tiempos de preparación tanto de operadores y máquinas, como de materiales a ser procesados.
(Laturga 2007)

Para minimizar o incluso eliminar estos desperdicios, las empresas deben mantenerse en una mejora continua, con el fin de mejorar sus indicadores de calidad, disminuir costos y cumplir los plazos de entrega del producto.

3.3 Definición de la calidad

La calidad es un concepto estudiado y definido por muchos autores, a continuación se muestran algunas de las definiciones.

Según Eduard Deming *“un producto o servicio posee calidad si ayuda a alguien y disfruta de un amplio y sostenible mercado, haciendo hincapié en que la calidad la determinaba el cliente y no un departamento interno de la organización”*. (Bernárdez, 2009)

La calidad según Joseph Juran es *“adecuación para el uso”* en el contexto de que la opinión del usuario es la que indica que la calidad está en el uso real del producto. (James, 2000)

Calidad *“es el grado en el que el conjunto de características inherentes satisface las necesidades o expectativas establecidas, generalmente implícitas u obligatorias”*, según la ISO 9000:2000.

En conclusión, es posible decir que la calidad es un proceso de mejoramiento continuo de las áreas de la empresa que están ligadas a la producción del bien o servicio, logrando con ello mayor productividad y donde la totalidad de las características de dicho producto deben satisfacer las necesidades del cliente.

En la actualidad los clientes están exigiendo cada vez productos con mayor calidad y esto se traduce para la empresa como el nivel de competitividad que tiene ésta en el mercado. Antiguamente, la calidad no tenía gran importancia, es más, se veía como un costo adicional para la empresa.

La visión sobre dicho tema ha cambiado de manera significativa, es por esto que a continuación se muestra la tabla 2, que presenta una comparación de las visiones sobre la calidad.

Tabla 1 Visiones de la calidad.

ANTIGUAMENTE	ACTUALMENTE
La calidad aumenta los costos de la empresa.	La no calidad aumenta los costos de la empresa.
Recepción en la materia prima.	Concertar la calidad en la materia prima.
La base de la calidad es la inspección.	La base de la calidad es el diseño y los procesos.
El objetivo de la calidad es buscar buenos niveles de calidad en los productos.	El objetivo de la calidad es buscar cero defectos en los productos.
100% de controles.	Control estadístico de procesos.

Fuente: Elaboración propia a partir de (James, 2006).

3.3.1 Las 7 herramientas básicas de la calidad

El control de la calidad en la organización está apoyado por una serie de herramientas que buscan medir y controlar los procesos, analizar y resolver las causas de dichos errores y ayudar a disminuir los costos de calidad.

Ishikawa desarrolló una clasificación de herramientas estadísticas de la calidad (James, 2000). Dichas herramientas son (Ver Anexo I):

- Diagrama de causa y efecto o de Ishikawa.
- Hojas de Control.
- Histograma.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de dispersión.
- Gráficos de control.
- Estratificación.

3.4 Mejora continua

“Un programa de gestión de calidad total (TQM) requiere un proceso ininterrumpido de mejora que incluya personas, equipos, proveedores, materiales y procedimientos. La base de la filosofía es que todos los aspectos de una operación son susceptibles de mejora. El

objetivo final es la perfección absoluta, que nunca se puede conseguir, pero siempre se debe buscar". (Heitzer y Render, 2007, p251)

Deming utiliza el ciclo de Shewart para ilustrar la mejora continua, el cual también es llamado PDCA por sus siglas en inglés. Esto se presenta a continuación en la ilustración 10.

Ilustración 10 Circulo de Deming.



Fuente: Leanroots 2010.

Las cuatro etapas que componen este ciclo son:

- Planificar (Plan): Definición de las actividades a mejorar y los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Hacer (Do): Realizar los cambios necesarios para implantar la mejora propuesta.
- Comprobar o Verificar (Check): Determinar un periodo de prueba de la mejora para establecer que está funcionando de manera correcta.
- Actuar (Act): Finalmente, se deben analizar los resultados y compararlos con la situación inicial. Si se obtienen resultados positivos, se implantará la mejora de manera definitiva; en caso contrario se reevalúan las etapas.

Para trabajar con la mejora continua se tienen diversas herramientas, tales como: *Six Sigma*, *Lean Manufacturing*, Método Kaizen, Análisis de Valor, entre otros (Ver Anexo II). Estas herramientas tienen distintos enfoques y objetivos a pesar de todos ser parte de la visión de mejora continua.

Lean Six Sigma, es la unión de dos de estas herramientas e incluye a todas aquellas que representan interés para este caso. Esta metodología de mejora de los productos y procesos de una empresa, busca mejorar la satisfacción del cliente, reducir el tiempo de ciclo y eliminar los defectos en éstos.

De acuerdo a los objetivos buscados por el modelo anteriormente mencionado y por el problema tratado en este estudio, es que se decide tomar como herramienta el modelo *Lean Six Sigma*, el cual espera mejorar la satisfacción de los clientes de la empresa Máquinas Sanmartin, disminuyendo los tiempos de procesos y eliminando los errores en los mismos, con el fin de evitar el retraso.

3.5 *Lean Six Sigma*

Lean Six Sigma pretende combinar la producción libre de errores con la mayor productividad. Es así como Six Sigma se enfoca en la reducción de la variación de los productos y *Lean Manufacturing* en la productividad.

El objetivo del LSS es ofrecer a las empresas un sistema basado en datos para satisfacer a los clientes, reducir los costos, utilizar de mejor forma los recursos y producir productos de calidad. Esta metodología tiene como principios claves los siguientes:

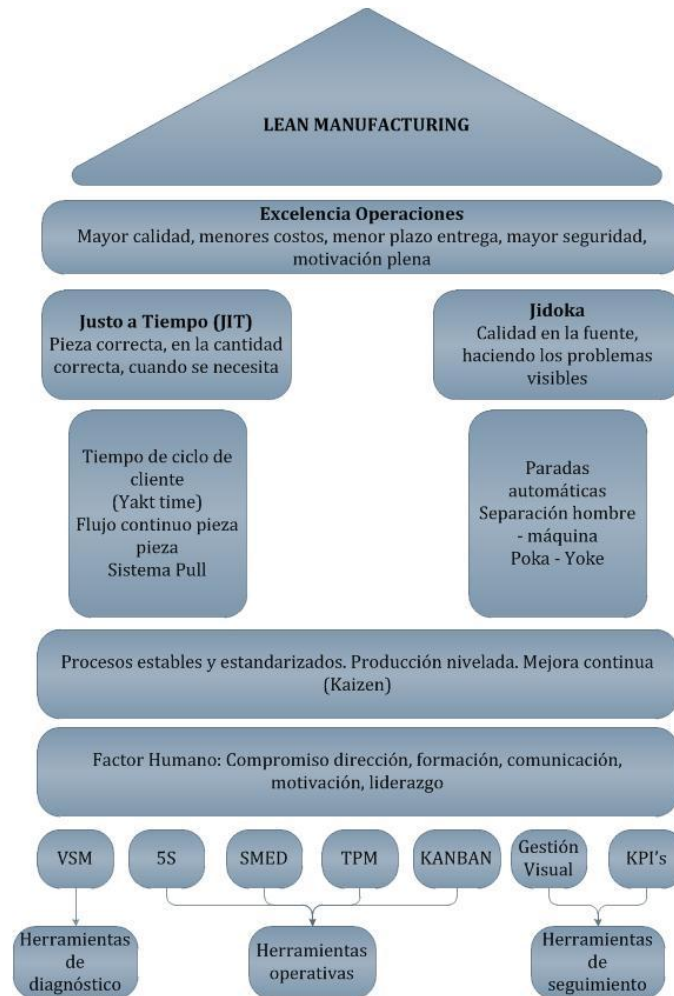
- Deleitar al cliente: Implica entregar a los consumidores los productos y servicios requeridos en el momento, precio y con la calidad adecuada.
- Identificar el valor: Reconocer aquellas actividades que están relacionadas en la producción de un producto y agregan valor a éste, ya que las demás sólo reducen la velocidad del proceso.

- Comprender el proceso: Identificación de los clientes, el flujo de trabajo y los responsables, para determinar los cuellos de botella, el retrabajo, etc.
- Eliminar desperdicios: LSS identifica los tipos de desperdicios que deben ser eliminados o minimizados, siempre con el objetivo de deleitar al cliente.
- Reducir la variación del proceso: Siempre se tendrán variaciones en los procesos (cambio que afecta el resultado esperado). Sin embargo, la clave es cómo y en qué medida afectará al resultado final.

3.5.1 Lean Manufacturing

Filosofía de trabajo basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción. Ésta se enfoca en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios.

La estructura Lean es compleja, sin embargo, tradicionalmente se ha recurrido al esquema de “Casa del Sistema de Producción Toyota”, que permite visualizar de forma clara y práctica su filosofía y las técnicas disponibles para su aplicación (Juan Carlos Hernández y Antonio Vizán, 2013).

Ilustración 11 Estructura de *Lean Manufacturing*.

Fuente: *Lean manufacturing* (Juan Carlos Hernández y Antonio Vizán, 2013).

3.5.1.1 Eficiencia de ciclo según *Lean Manufacturing*

Lean manufacturing pone especial énfasis en el valor añadido al producto. De esta forma *Lean* analiza lo que no se debería realizar, desde el punto de vista de la agregación de valor al cliente y tiende a eliminarlo.

Es así como la métrica utilizada por este método es la eficiencia de ciclo, la cual relaciona el tiempo de valor añadido al producto con el tiempo total de ciclo, lo que se puede apreciar en la ecuación 1 (Véliz, 200?).

$$\text{Eficiencia de ciclo} = \frac{\text{Tiempo valor añadido}}{\text{Tiempo total de ciclo}}$$

Ecuación 1 Eficiencia de ciclo.

3.5.2 Six Sigma

La metodología *Six Sigma* se inicia en 1987 en Motorola cuando el ingeniero Mikel Harry influencia a la empresa para que se estudie las variaciones, específicamente la desviación estándar que presentan los procesos y así poder mejorarlos.

No existe una definición específica del *Six Sigma*, sin embargo, Mikel Harry lo define como “un proceso de negocio que permite a las empresas mejorar tremendamente su cuenta de resultados mediante el diseño y seguimiento diario de las actividades cotidianas de manera que se minimice el desperdicio a la vez que se maximiza la satisfacción del cliente”.

Six sigma se caracteriza por la utilización de herramientas estadísticas, de ahí viene su nombre, ya que sigma es la desviación estándar de los procesos y es lo que en esta metodología se intenta reducir.

Un proceso que está en control de *Six Sigma* producirá como máximo 3,4 defectos por millón de unidades.

3.5.2.1 Metodología DMAIC

Six Sigma se apoya del método DMAIC, el cual consta de 5 fases que se describen a continuación.

- a) Definir (D): En esta etapa se describen clara y precisamente los objetivos del proyecto, identificando:
 - Los clientes y sus requerimientos para los productos y servicios.
 - Cómo afectan los procesos a la organización.
 - Las características cruciales para la calidad (CTQ) que el cliente considera que influyen más en los productos.

- b) Medir (M): en esta fase se reconocen de manera profunda los niveles actuales de desempeño, se determina cómo medir el sistema, se identifican los procesos internos claves que influyen en las características cruciales para la calidad y se miden los defectos que se generan actualmente.
- c) Analizar (A): En esta etapa se calcula la capacidad del proceso o el nivel sigma, como base para la definición de objetivos de mejora de éste. Se determinan las causas más probables de los defectos gracias a datos históricos y se debe entender por qué se generan las inconformidades, identificando las variables claves que tienen mayor probabilidad de producir variaciones en los procesos.
- d) Mejorar (I): En esta fase se seleccionan las características de desempeño del proceso que deben ser corregidas para conseguir los objetivos de mejora. Dentro de esta fase se realiza lo siguiente:
- Identificar los medios para eliminar las causas de los defectos, confirmar las variables claves y cuantificar sus efectos en las características cruciales para la calidad.
 - Establecer márgenes máximos de aceptación de las variables clave y un sistema para medir las desviaciones de dichas variables.
 - Modificar los procesos para estar dentro de los límites apropiados.
- e) Control (C): En esta etapa se asegura que las condiciones del nuevo proceso sean documentadas; se determina cómo mantener las mejoras y se fijan herramientas de monitoreo para que las variables clave se mantengan dentro de los límites máximos de aceptación en el proceso modificado. (Schroeder, Meyer y Rungtusanatham, 2011)

3.5.2.2 Herramientas utilizadas en *Six Sigma*

La metodología *Six Sigma* no cuenta con herramientas propias ni originales, sino que utiliza herramientas ya existentes que apoyan el objetivo de ésta.

A continuación se presenta la ilustración 12 que muestra las herramientas utilizadas en cada fase de la metodología DMAIC:

Ilustración 12 Herramientas utilizadas en DMAIC.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de cada fase existen muchas herramientas que se pueden utilizar, sin embargo, no es obligatorio usarlas todas, ya que cada una puede ser más útil según lo que se necesite.

3.5.2.3 Las métricas *Six Sigma*

La metodología *Six Sigma* requiere que la calidad se mida de una manera objetiva. Es por esto que incorpora diferentes métricas de calidad, con el fin de enfatizar la consistencia de los productos, servicios y de cada uno de los procesos.

Las métricas utilizadas en el método *Six Sigma* son:

- Defectos por millón de oportunidades (DPMO).
- Índice de la capacidad del proceso (*Cpk*).
- Costo de mala calidad (COPQ).
- Nivel Sigma.

- **Niveles de desempeño en *Six Sigma***

Sigma (σ) es la letra griega que se emplea en calidad para representar el parámetro que mide la variabilidad de una distribución estadística, es decir, esta métrica de desempeño está asociada a la desviación estándar (mientras más alto el “Sigma”, menor será la desviación estándar).

Mikel Harry dice que el desplazamiento es de $1,5\sigma$ hacia ambos extremos, porque en el mundo real los procesos no se comportan de manera estable; sin embargo, este valor es arbitrario.

A través de la campana de Gauss, fijado un nivel sigma, es posible conocer la fracción de piezas defectuosas por un millón y el nivel de funcionamiento correcto del proceso. Además, de conocer estas variables, con la campana de Gauss es posible calcular la capacidad del proceso.

Para obtener el nivel sigma, primero se deben calcular los valores de: defectos por unidad (DPU), defectos por oportunidad (DPO) y defectos por millón de oportunidades (DPMO). A continuación se presentan las respectivas ecuaciones.

$$DPU = \frac{\text{Número de defectos encontrados}}{\text{Unidades inspeccionadas}}$$

Ecuación 2 Defectos por unidad.

$$DPO = \frac{DPU}{\text{Oportunidades de defecto por unidad}}$$

Ecuación 3 Defectos por oportunidad.

$$DPMO = DPO \cdot 10^6$$

Ecuación 4 Defectos por millón de oportunidades

Luego de calcular el DPMO, se recurre a la tabla llamada “conversión de fracciones defectuosas a nivel sigma” (Anexo III), con el objeto de obtener el nivel sigma del proceso estudiado.

A continuación se presenta la tabla 2 que muestra un resumen de la relación entre el nivel sigma, la fracción defectuosa (DPMO) y la fracción de elementos fabricados correctamente (FTY).

Tabla 2 Valores de los niveles de desempeño en el *Six Sigma*.

Nivel Sigma	Fracción Defectuosa o DPMO desplazada en 1,5 σ (Largo Plazo)	FTY desplazada 1,5 σ (Largo Plazo)
2	308.770,206	0,691
2,5	158.686,946	0,841
3	66.810,63	0,93318937
3,5	22.750,35	0,97724965
4	6.209,70	0,99379030
4,5	1.349,97	0,99865003
5	232,67	0,99976733
5,5	31,69	0,99996831
6	3,40	0,99999660

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la tabla 3 que presenta la relación entre el costo de la mala calidad y el nivel sigma.

Tabla 3 Niveles sigma y costo de la calidad.

Nivel Sigma	Costo de la Calidad
2	30 a 40% de las ventas.
3	20 a 30% de las ventas.
4	15 a 20% de las ventas.
5	5 a 15% de las ventas.
6	Menos de 5% de las ventas.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Simulación

3.6.1 Definición de simulación

Según R.E. Shannon "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema".

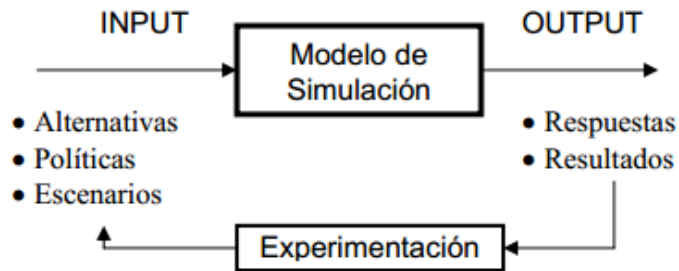
Shubik define “la Simulación de un sistema como la operación de un modelo, el cual es una representación del sistema”.

Debido a lo anterior, se define simulación como la reproducción del comportamiento de un proceso real, con el fin de llegar a conclusiones aplicables al mundo real.

Por otra parte, es necesario comprender a cabalidad el escenario que se va a simular y las respuestas que se desean obtener del modelo, ya que este no escogerá la mejor opción por sí mismo, sino que guiará y apoyará la toma de decisiones.

A continuación se presenta la ilustración 13 que representa el flujo de una simulación, es decir, se observan las entradas del sistema como las inquietudes a resolver, el modelo de simulación, las salidas del modelo como los resultados, la experimentación de distintos escenarios y se tiene la salida de esto que son las alternativas de mejoras, etc.

Ilustración 13 Flujo de una simulación.



Fuente: David Muñoz, Universidad de Bio Bio.

En conclusión se puede decir que la simulación es una herramienta utilizada en las ciencias para analizar y estudiar sistemas complejos, permitiendo experimentación controlada, con el fin de resolver o mejorar dicho proceso. Esto se realiza a través de la reproducción del comportamiento de un sistema real.

3.6.2 Metodología de simulación

Law y Kelton (2000), plantea las siguientes etapas que se deben realizar para definir y originar un modelo de simulación:

- a) Comprensión del sistema real y planteamiento claro de los objetivos del estudio: en esta etapa se debe realizar una descripción del sistema, determinando el contexto del problema, las variables que interactúan dentro del proceso, las restricciones, los objetivos, los recursos, los índices de medición de la efectividad del sistema, entre otros.
- b) Recolección de datos y formulación del modelo conceptual: en este punto se debe definir los datos que condicionen y describan el proceso actual. Los datos pueden ser recopilados en terreno o de manera histórica, dependiendo de los resultados deseados.
- c) Creación del programa utilizando el software adecuado: en esta etapa se definen todas las variables que formarán parte del modelo, las relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describen en forma completa el proceso, con el fin de crear el modelo en el software que se utilizará.
- d) Verificación del programa: se comprueba que la simulación del sistema es una representación concordante con el modelo conceptual descrito.
- e) Validación del modelo: se comprueba que el modelo sea una representación fiel del proceso real, comparando los datos reales con los del modelo computacional.
- f) Experimentación: en esta etapa se requiere que el modelo esté completo y repetir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, para poder obtener resultados o indicadores que ayuden a comprender y analizar el proceso.
- g) Análisis de los resultados de la simulación: se estudian los resultados obtenidos y se detectan soluciones para el proceso planteado.

- h) Presentación de las conclusiones del estudio: con las soluciones generadas en la simulación, es posible generar informes donde se especifiquen las mejoras obtenidas, para la futura toma de decisiones en el proceso real.

3.6.3 Clasificaciones de la simulación

Existen diferentes formas de clasificar la simulación y depende de la naturaleza del problema la que se debe utilizar. A continuación se presenta la clasificación más utilizada (Kelton, Sadowski y Sadowski. 2007)

- Modelos Estáticos y Dinámicos: el modelo estático hace referencia a un sistema que es invariable en el tiempo, por ejemplo, la decisión entre comprar una casa u otra. En cambio en un modelo dinámico, el estado del sistema se va modificando de acuerdo al tiempo, por ejemplo, el estado de la piel a los 15 y a los 70 años.
- Modelos Continuos y discretos: en un modelo continuo el estado del sistema puede ir variando en cada unidad de tiempo, por ejemplo, el consumo de combustible en un vehículo en movimiento. En el caso de los modelos discretos, existen cambios en el estado del sistema, pero se realizan en puntos determinados de tiempo, por ejemplo, las llegadas de un cliente a un cajero.
- Modelos deterministas y estocásticos: el determinista no presenta entradas aleatorias en el sistema y en el estocástico las llegadas o entradas están descritas por una distribución de probabilidad.

3.6.4 Simulación de eventos discretos

Como se mencionó anteriormente, una simulación de eventos discretos es aquella en que el sistema sufre un cambio de estado en un momento determinado de tiempo.

La simulación discreta ocurre cuando las variables dependientes, es decir todas aquellas que dependan del tiempo (la cuál sería una variable independiente), sean modificadas de manera discreta en ciertos puntos de la simulación.

Para este caso, se considera que cada proceso de transformación por los que deben pasar las órdenes representa un evento discreto, ya que se produce en un instante determinado de tiempo e implica un cambio de estado del proceso global.

Es así como la simulación comenzará con el inicio del reloj de simulación e irá avanzando a medida que avancen los eventos hasta el inicio de un nuevo evento.

Finalmente, cuando el tiempo especificado se haya acabado, o bien, cuando se den las condiciones determinadas se terminará la simulación.

3.6.5 Arena

Arena es un software de modelado y simulación de áreas de negocio, diseñado para analizar el impacto de los cambios que suponen una cadena de suministros, procesos, logística, distribución, entre otros.

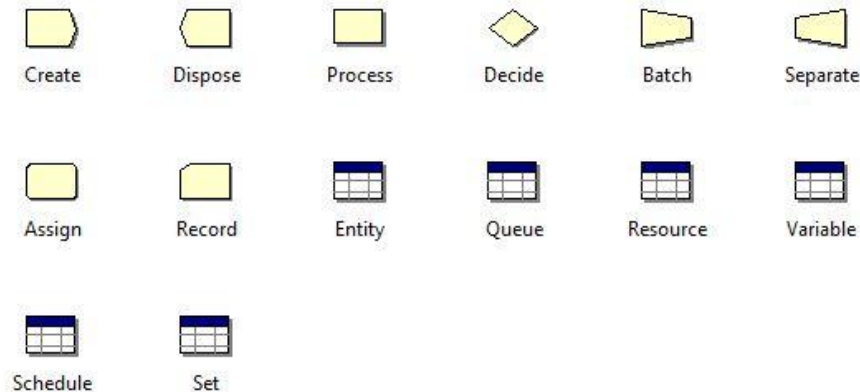
Por otra parte, esta herramienta tiene gran flexibilidad, es decir, se puede repetir el comportamiento bajo diferentes condiciones, con el fin de experimentar en el sistema modelado lo que no se puede hacer con el proceso real.

Arena está diseñado en base al lenguaje de programación SIMAN, que modela un sistema discreto utilizando la orientación al proceso, es decir, en un modelo de sistema particular, se estudian las entidades comprometidas en el sistema.

Una entidad para SIMAN es un cliente o un objeto que se mueve en la simulación y que posee características únicas conocidas como atributos. Los procesos denotan la secuencia de operaciones o actividades a través de los que se mueven las entidades.

En Arena se pueden encontrar distintos paneles de proceso como: básico, avanzado, de transferencia avanzada, *panel flow*, entre otros. El panel más utilizado en el modelado de arena es el básico, el cual consta de los siguientes módulos.

Ilustración 14 Panel básico de Arena.



Fuente: Software Arena.

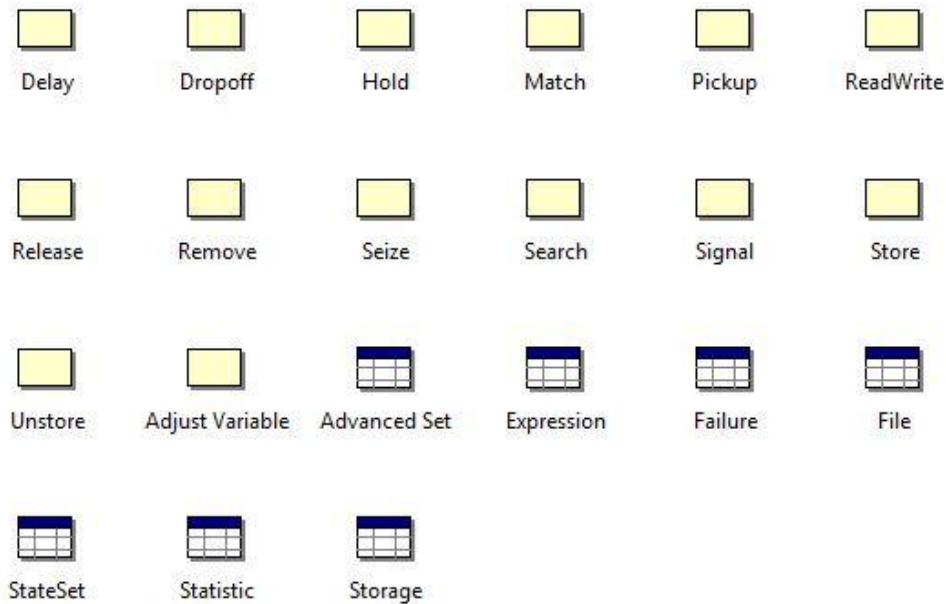
Tabla 4 Módulos del panel básico de Arena.

Módulo	Descripción
<i>Create</i>	Módulo lógico que representa las llegadas de las entidades del sistema.
<i>Process</i>	Módulo lógico que constituye cualquier acción dentro del sistema que requiera tiempo y además es capaz de representar la ocupación de una máquina y un operador (recursos).
<i>Dispose</i>	Módulo lógico que tiene por función sacar las entidades del sistema.
<i>Decide</i>	Módulo lógico que sirve para alterar el rumbo de las entidades basado en una condición del sistema o en una probabilidad porcentual; representa una ramificación en el flujo del proceso.
<i>Assign</i>	Este módulo se emplea para asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, figuras de las entidades u otras variables del sistema.
<i>Batch</i>	Módulo que funciona como un mecanismo que agrupa por lotes las entidades dentro del sistema.
<i>Separate</i>	Este módulo se utiliza para replicar una entidad entrante en múltiples entidades o para separar una entidad anteriormente agrupada.
<i>Record</i>	Este módulo representa el final de entidades en un sistema. Las estadísticas de la entidad se registran antes de que la entidad se elimine del modelo.
<i>Entity</i>	Módulo de datos que relaciona las definiciones y parámetros referentes a los tipos de entidades utilizados en el sistema.
<i>Resource</i>	Módulo de datos que reúne todos los recursos utilizados en el sistema.
<i>Queue</i>	Módulo de datos que se utiliza para cambiar la regla para una determinada cola. La regla de cola por defecto es First In, First Out (FIFO).
<i>Schedule</i>	Módulo de datos donde se definen horarios de trabajo, planificación de llegada de las entidades y capacidad de los recursos.
<i>Set</i>	Módulo de datos que define distintos tipos de conjuntos como: recursos, contadores, colas, tipos de entidad y figuras de entidad.
<i>Variable</i>	Módulo de datos que define la dimensión de una variable y su valor inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el panel *Advanced Process* provee de módulos básicos adicionales y otros avanzados para la construcción del modelo. A continuación se muestra la ilustración 12 que presenta los módulos que contiene el panel *Advanced Process*.

Ilustración 15 Módulos del *Advanced Process* de Arena.



Fuente: Software Arena

Además, este software trae incorporadas herramientas como *Input Analyzer* que sirve para realizar el procesamiento de los datos de entrada del modelo, con el fin de ajustar distribuciones de probabilidad, entre otras.

A continuación se describen las distribuciones más frecuentes:

WEIBULL: Fue establecida por el físico suizo *Weibull*, quien demostró que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. También se ha usado para modelar situaciones del tipo tiempo-falla, o bien puede indicar la vida útil de cierto artículo, planta o animal, confiabilidad de un componente.

Se dice que x es una variable aleatoria con distribución *Weibull* sí:

- Su función de densidad es de la forma

$$g_x(x) = \alpha \lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-(\lambda x)^\alpha} \text{ con } \alpha, \lambda > 0$$

Ecuación 5 Función de densidad de la distribución *Weibull*

α : Parámetro de forma

λ : Parámetro de escala

- Si $\alpha < 1$ la forma es de jota traspuesta.

- Si $\lambda > 1$ la forma incluye un pico único, la moda, en:

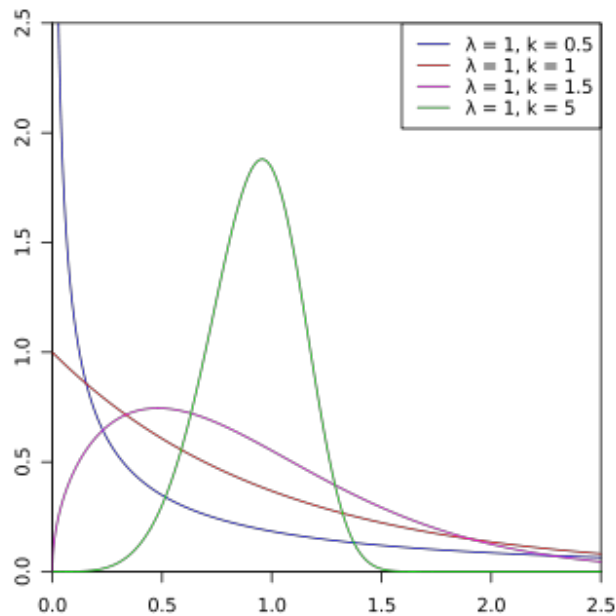
$$x = \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha \lambda^\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Ecuación 6 Función para x de la distribución *Weibull*.

- Si $\alpha = 1 \rightarrow X \sim \text{Ex}(\lambda)$

A continuación se presenta en la ilustración 16, algunas de las formas que puede adquirir esta distribución.

Ilustración 16 Formas que adquiere la distribución *Weibull*.



Fuente: Engineering Statistics Handbook, Weibull Distribution.

UNIFORME: Es aquella donde la variable aleatoria toma cada uno de sus valores con la misma probabilidad.

Si la V.A. x toma los valores x_1, x_2, \dots, x_k , con idénticas probabilidades, entonces la distribución uniforme discreta está dada por:

$$f(x; k) = \frac{1}{k}, \quad x = x_1, x_2, \dots, x_k$$

Ecuación 7 Función para la distribución Uniforme.

CONSTANTE: Representa un valor fijo.

EXPONENCIAL: La distribución exponencial estudia el tiempo entre cada una de las llegadas al sistema; el tipo de variables con las que trabaja esta distribución son variables continuas, porque el tiempo entre llegadas no es un número entero.

Esta distribución se utiliza para describir el tiempo entre eventos. Más específicamente la variable aleatoria que representa al tiempo necesario para servir a la llegada.

El uso de la distribución exponencial supone que los tiempos de servicio son aleatorios, es decir, que un tiempo de servicio determinado no depende de otro servicio realizado anteriormente ni de la posible cola que pueda estar formándose.

La función que representa esta distribución es la siguiente:

$$f(x) = P(X \leq x) = \int_0^x \beta e^{-\beta t} dt = 1 - e^{-\beta x}, \quad 0 \leq x \leq \infty$$

Ecuación 8 Función de la distribución Exponencial.

GAMMA: Es una distribución adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias continuas con asimetría positiva. Es decir, variables que presentan una mayor densidad de sucesos a la izquierda que a la derecha. En su expresión se encuentran dos parámetros, siempre positivos, (α) y (β) de los que depende su forma y alcance por la derecha, y también la función *Gamma* $\Gamma(\alpha)$, responsable de la convergencia de la distribución

La función de densidad de la distribución *Gamma* es:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, & \text{si } x \geq 0 \\ 0, & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Ecuación 9 Función de la distribución *Gamma*.

4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

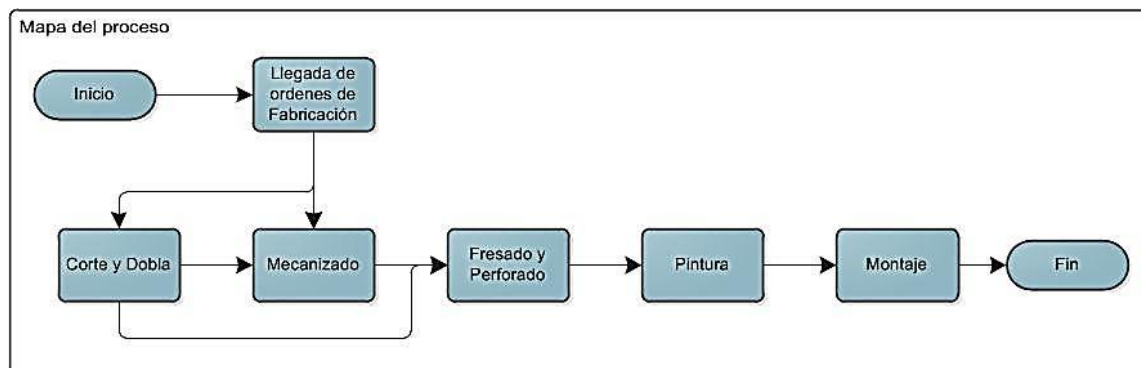
4.1 Descripción de las etapas del proceso productivo

El recibimiento de la materia prima da inicio a los procesos de producción del cabezal, siendo inspeccionada por control de calidad. Si las especificaciones están correctas es encaminada al área que se precisa.

Luego de esto, se observa que el proceso de fabricación envuelve la manufactura de diversos componentes y cada uno pasa por diferentes áreas de producción, los cuales son: corte y dobla, mecanizado CNC, fresado y perforado, pintura y montaje.

A continuación se presenta la ilustración 17 que presenta el mapa del proceso.

Ilustración 17 Mapa del Proceso.



Fuente: Elaboración propia a partir de Máquinas Sanmartín (2014).

4.1.1 Área de Corte y Dobla

El proceso de fabricación comienza en esta área, aquí llega la materia prima necesaria y es procesada por distintas máquinas.

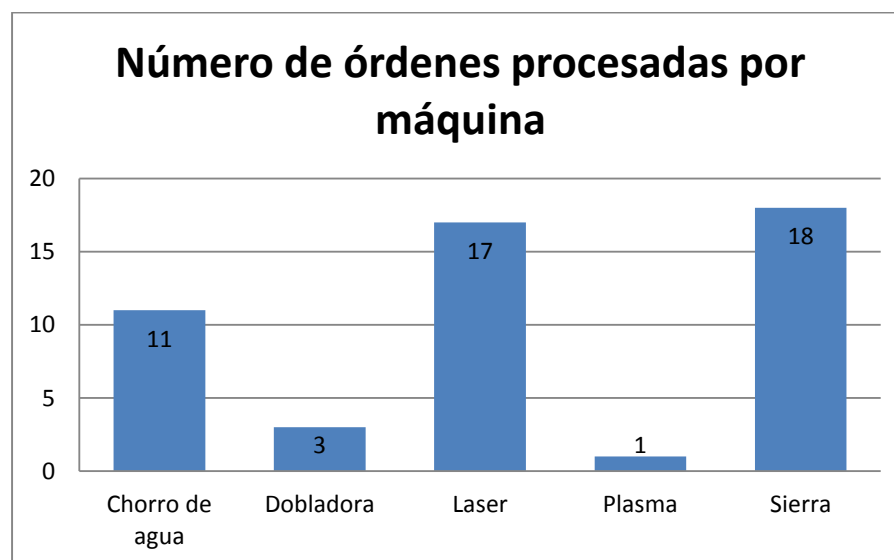
En esta área se tiene un coordinador de área que se encarga de la planificación del día, un programador que se encarga de las máquinas laser, plasma y chorro de agua, y los operadores, que es uno por cada máquina.

Las máquinas disponibles en esta área, se presentan a continuación.

- 2 Máquinas de corte a laser BLM LT COMBO CO2 3.000W: esta máquina permite un peso máximo de la pieza de 100kg, con dimensiones de chapa de 3000x6000mm.
- Máquina de corte a chorro de agua FLOW 30.000 PSI.
- Máquina de corte a plasma BAW HIPERTERM 400ª.
- Sierra mecánica: sierra para cortar barras, tiene una velocidad de 70 y un avance que varía entre 1,5 y 2, siendo el operador el que regula esto.
- Sierra para materiales plásticos.
- Dobladora NEWTON PSH 35040: esta máquina posee una capacidad de dobla de hasta 350 toneladas x 4050 mm. La velocidad de sus ejes son: X=500mm/s; R=300mm/s; Z=700mm/s, donde X es control del tope trasero con movimiento hacia adelante y atrás, Y el ángulo de plegado, R la regulación de la altura de los topes, es decir, movimiento hacia arriba y abajo y Z corresponde al ángulo de movimiento de los topes hacia los costados.

Las órdenes de fabricación que llegaron a esta área fueron 47 y 3 órdenes precisaban también doblado. En el gráfico siguiente se muestran las máquinas utilizadas con su respectivo número de trabajos realizados.

Gráfico 2 Número de órdenes procesadas en Corte y Dobra.



Fuente: Elaboración propia a partir de Máquinas Sanmartín (2014).

4.1.2 Área de Mecanizado

Esta área está compuesta por mecanizado convencional y mecanizado CNC, aquí existe un coordinador que se encarga de la planificación diaria, tanto para los tornos convencionales, como para los tornos CNC.

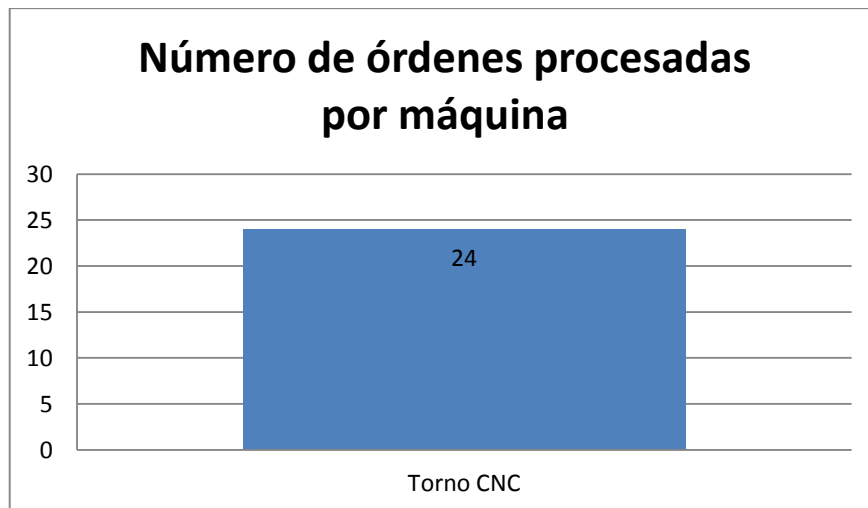
Los tornos convencionales sirven como apoyo en la fabricación de las piezas. Generalmente son utilizados para órdenes con mínima cantidad de piezas (de 1 a 10 piezas) debido al tiempo que demoran en procesar cada orden. Existen 8 tornos convencionales con un operador por máquina, sin embargo, en este proceso no se utilizó este tipo de maquinaria.

Los equipamientos CNC son de marca Romi, debido a que es una máquina robusta que puede ser utilizada para una producción media y alta. En esta área se tienen 10 máquinas para suplir toda la demanda diaria, con un operador por equipo.

Las órdenes que entraron a esta área fueron 20, sin embargo, 4 de ellas necesitaban otra operación, por lo tanto, se registraron 24 trabajos realizados en esta área.

A continuación se presenta el gráfico 3 que muestra la máquina del área y los procesos que realizaron en ella.

Gráfico 3 Número de órdenes procesadas en Mecanizado.



Fuente: Elaboración propia a partir de Máquinas Sanmartín (2014).

4.1.3 Área de Perforadora y Fresado

Esta área es la encargada de hacer las perforaciones y el arranque de viruta según las especificaciones de cada pieza. El coordinador del área está encargado de la planificación diaria para todas las máquinas.

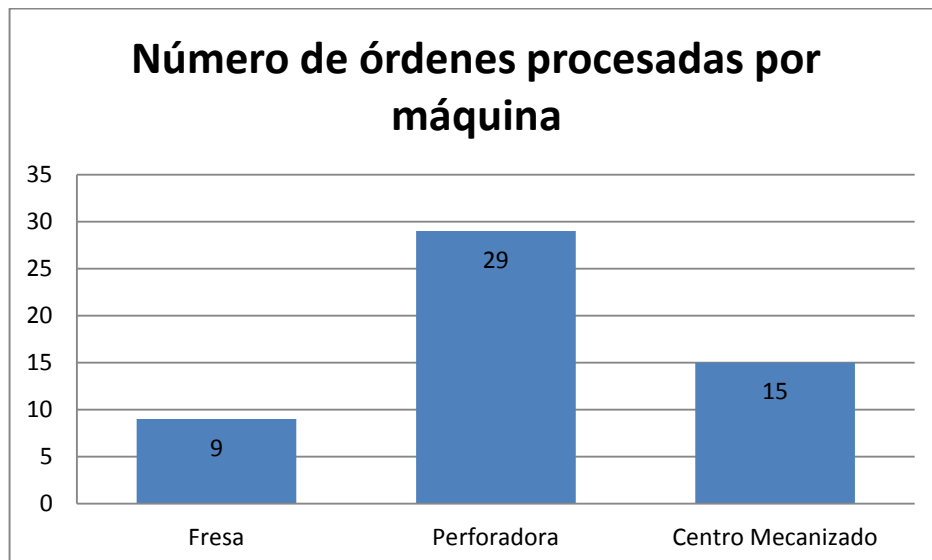
Las máquinas que componen esta área son cinco perforadoras, cinco fresadoras universales y dos centros de mecanizado, cada uno tiene un operador.

Además existe un programador que se encarga del área de centro de mecanizado, tanto de la planificación del día como de la programación de los equipos.

Las órdenes procesadas en esta área fueron 53, cabe destacar que las órdenes que entraron fueron 38, pero algunas necesitaban más de una operación.

A continuación se presenta el gráfico 4 que presenta el número de órdenes procesadas por cada máquina.

Gráfico 4 Número de órdenes procesadas en Perforadora y Fresado.



Fuente: Elaboración propia a partir de Máquinas Sanmartín (2014).

4.1.4 Área de Pintura

La empresa posee dos procesos de pintura: pintura líquida y pintura en polvo.

Para preparar la superficie de las piezas que serán pintadas se utilizan dos procesos: Chorro de granalla y microesfera, y baños con aplicación de fosfato en spray. Ambos procesos se realizan con líneas de producción, teniendo 30 trabajadores y un coordinador para toda el área.

A esta área entraron las 50 órdenes.

4.1.5 Área de Montaje

Esta área se divide en dos: pre-montaje y montaje final. En el pre-montaje se realizan los montajes de los componentes de la pieza final.

En este caso se tuvieron 10 pre-montajes, los que se enlistan a continuación.

- Montaje de laterales.
- Montaje del tubo central.
- Montaje del tubo de transferencia.
- Montaje del rolo motriz de las cortinas.
- Montaje de la barra de retención.
- Montaje del centrador.
- Montaje del eje motriz.
- Montaje del eje de retorno.
- Montaje del tubo de las cortinas.
- Montaje guía de la corriente.

Luego de este proceso viene el montaje final, donde las piezas pasan a la última etapa de fabricación. Para este caso, en el montaje final se termina el cabezal, que es la pieza estudiada.

En esta área se tiene un coordinador y 3 montadores por proyecto. Además, se encargan de los test de las máquinas o piezas, desmontaje y embalaje de los equipamientos.

4.2 Modelo *Kano*

Con el fin de definir el proceso en mayor detalle se aplica el Modelo *Kano*, herramienta que clasifica en cinco categorías los atributos del producto en cuanto a la respuesta que tiene el cliente.

Cabe destacar que en este proceso el cliente es interno, sin embargo al tener un retraso en este componente, también afecta al cliente externo. Es por esto que se realiza en cuanto a la satisfacción del cliente externo, con la información que tiene la empresa en cuanto a la retroalimentación de sus consumidores.

A continuación se presenta la tabla 5 con el modelo *Kano*.

Tabla 5 Modelo *Kano*.

Categoría	Especificación
Calidad Atractiva	Como esta empresa entrega a los clientes mantenimientos gratuitos en los 2 primeros años de compra, los consumidores expresaron que esto era algo que hacía atractivo el producto.
Calidad Unidimensional	En esta categoría, se tiene la información de que el cliente contempla las características como gasto energético (en cuanto a mayor o menor gasto), vida útil de la máquina (a mayor vida útil, mayor satisfacción) y tiempo (a menor tiempo de entrega, mayor satisfacción).
Calidad Requerida	En este tipo de clasificación el cliente opina que se da al no cumplir con los plazos de tiempos de entrega establecidos y la calidad especificada.
Calidad Indiferente	En este punto se encuentra los colores de las máquinas, ya que para el cliente es indiferente este atributo del producto.
Calidad Inversa	La mala calidad dentro de las maquinarias generan en el cliente la insatisfacción con respecto al producto.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Análisis del comportamiento del proceso productivo

Para analizar el comportamiento de los datos es necesario tener en cuenta que dentro de la fábrica está incorporada una estrategia de prioridades, esto es, que cuando llega una orden de compra, se le asigna una prioridad de acuerdo a su fecha de entrega, lo que hace

que cuando lleguen diversas piezas a cada área de fabricación, éstos procesen primero las piezas que tienen mayor prioridad, con el fin de terminarlas lo antes posible y luego procesen las de menor prioridad.

Por ejemplo, si llega un proyecto que se necesita entregar el 04 de noviembre y otro el 20 de noviembre, ambos del presente año, el primer proyecto tiene mayor prioridad, asignándole el color azul, mientras que el otro tiene menor prioridad y se le asigna el color amarillo. Todas las órdenes de fabricación de las piezas de cada proyecto están con el color de prioridad, entonces cuando llegan a cada área, el coordinador determina que los operadores trabajen primero con las órdenes azules y cuando las terminen todas, continúen con las órdenes amarillas.

Cabe destacar que dentro de la fábrica existen letreros con todos los colores de los proyectos y están ordenados de mayor a menor prioridad, para que el personal distinga cuál es el proyecto que se debe realizar primero.

Luego de comprender la situación anteriormente mencionada, se procede al análisis del proceso productivo de los cabezales. Para esto fue necesario recolectar los datos pertinentes, cronometrando los tiempos de producción de los componentes del cabezal, dentro de los cuales se consideran los tiempos de *setup* (tiempo de preparación de la máquina) y los de agregación de valor al producto. Esto se realizó para cada área y para cada orden.

La toma de estos datos se realizó de la siguiente manera:

- Se tomaron los tiempos de producción de los componentes del cabezal y los de preparación de las máquinas.
- Los tiempos de *setup* fueron tomados de manera que incluyen la fabricación de la primera pieza buena del lote.
- Para la toma de los tiempos no se consideraron las paradas inesperadas de la máquina.

- Los tiempos de producción unitarios son los tiempos de ciclo, es decir, se considera desde el comienzo de una pieza hasta el término de la misma. Aquí se considera sólo el tiempo en que se agrega valor a la pieza.

Cabe destacar que los tiempos son desiguales, debido a que son piezas diferentes y están tratadas en máquinas distintas, es por esto que los datos son agrupados de acuerdo al área y máquina de proceso.

En el Anexo IV se muestra la tabla de los datos cronometrados de la fabricación de los cabezales para cada orden, agrupados en color según las áreas en donde son procesadas.

A continuación se presenta un cuadro resumen de la tabla de datos cronometrados.

Tabla 6 Cuadro resumen datos.

Áreas	Cantidad de órdenes por área	Cantidad de piezas por área
Corte y Dobla + Mecanizado	13	536
Corte y Dobla + Perforado	22	212
Mecanizado + Perforado	0	0
Las tres áreas	4	24
Solo un área	11	212
Total	50	984

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, con el fin de realizar un tratamiento a los datos y obtener información representativa para este estudio, se realizan histogramas y distribuciones para cada máquina utilizada, lo que se presenta en el Anexo V.

4.3.1 Identificación de desperdicios

Luego de medir el proceso, es posible realizar un análisis con el fin de identificar los desperdicios que se presentan.

A continuación se presentan los desperdicios del proceso.

4.3.1.1 Productos defectuosos

Dentro de la fabricación de los cabezales se encontraron órdenes no conformes, las cuales fueron rechazadas por el departamento de calidad y tuvieron que ser reprocesadas o hacerlas de nuevo.

A continuación se presenta la tabla 7 con las órdenes no conformes y sus detalles.

Tabla 7 Órdenes no conformes.

N°	Área	Código	Número de piezas erradas	Detalle
1	Corte	306261	1 de 16	Falta una pieza
2	Corte	306383	16 de 16	Pieza sin orificios requeridos
3	Corte	320628	1 de 8	Una de las piezas posee un largo menor
4	Corte	324000	8 de 8	Orificios errados
5	Corte	306406/1	32 de 32	Largo de las piezas errado
6	Corte	333396	8 de 8	Largo de las piezas errado
7	Pintura	306383	16 de 16	Pintura quebrada
8	CNC	301849	8 de 8	Rosca errada
9	CNC	301890	4 de 4	Falla en las medidas
10	Centro de Mecanizado	306415	8 de 8	Hoyos de menor medida

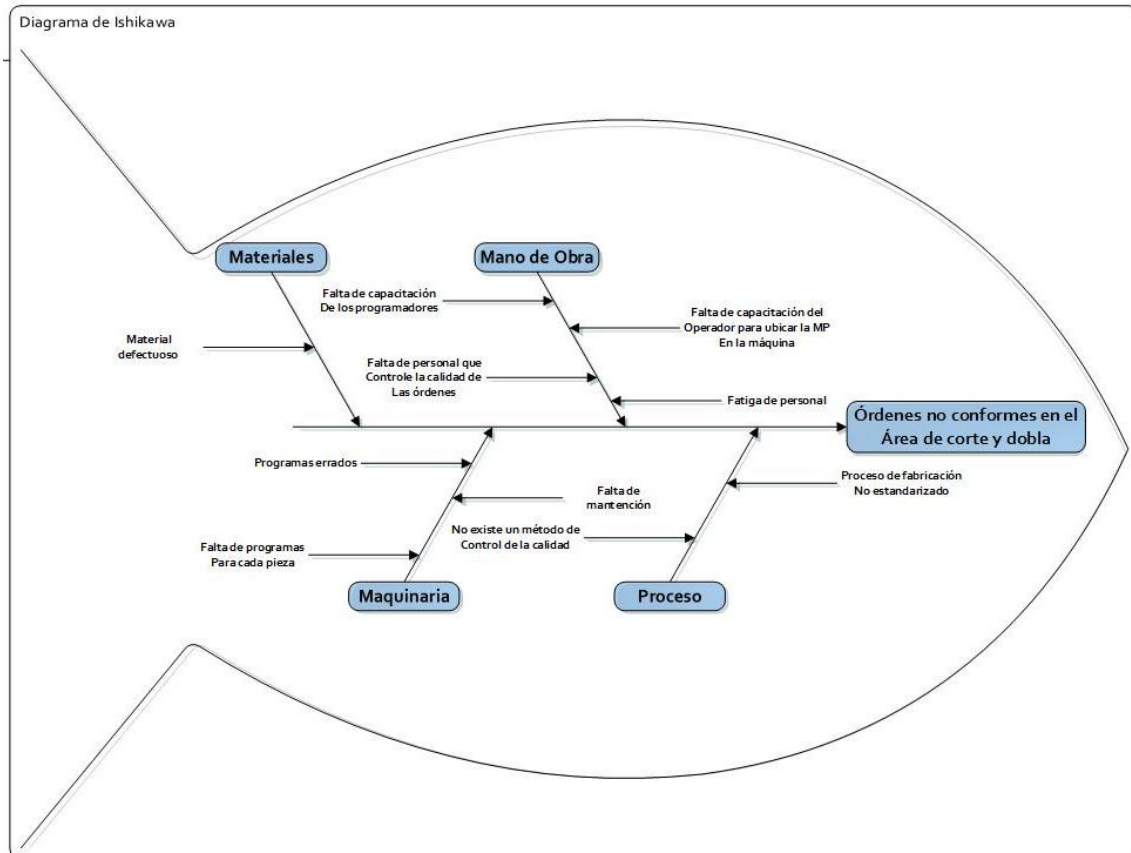
Fuente: Elaboración Propia.

Al observar las órdenes no conformes se obtiene que el 60% de las fallas, se localizaron en el área de corte y dobla.

A continuación se presenta la ilustración 18 que muestra el diagrama de Ishikawa en el área de corte y dobla, con el fin de analizar las causas raíces del problema detectado.

Cabe destacar que sólo se consideraron las cuatro “M” convencionales, excluyendo medio ambiente y medición, debido a que no influyen en este análisis en particular, es decir, no se encontraron causas tales como: contaminación, temperatura del medio ambiente, descalibraciones en equipos, fallas en circuitos, entre otros.

Ilustración 18 Diagrama de Ishikawa Órdenes no conformes.



Fuente: Elaboración Propia.

Con el Diagrama de Ishikawa se detectaron las causas raíces del problema, lo que se analiza con el diagrama de Pareto que se desarrolla a continuación.

La tabla 8 presenta las causas raíces de las órdenes no conformes en el área de corte y dobla, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, cantidad de piezas, entre otros.

Tabla 8 Causas raíces de las órdenes no conformes.

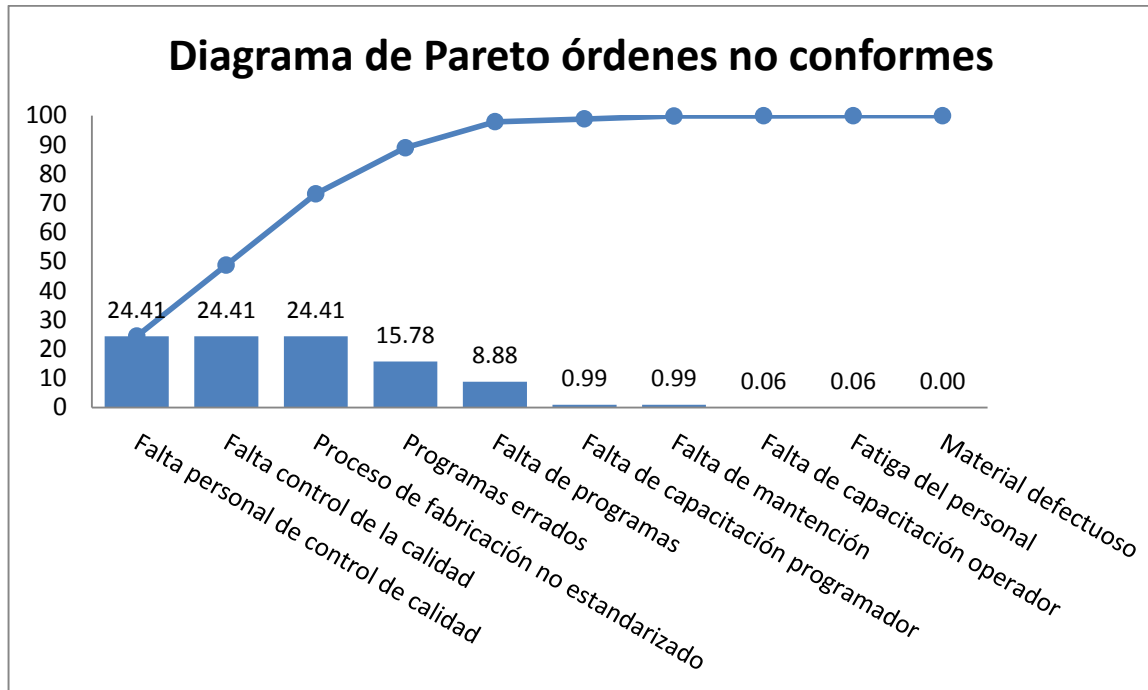
N° Causas	Causas	Frecuencia	Cantidad de piezas	Total piezas	%	Porcentaje Acumulado
C1	Falta de capacitación operador	1	1	1	0,061	0,061
C2	Falta de capacitación programador	1	16	16	0,986	1,048
C3	Fatiga del personal	1	1	1	0,061	1,109
C4	Falta de personal que realice control de calidad	6	66	396	24,414	25,524
C5	Falta control de la calidad	6	66	396	24,414	49,938
C6	Proceso de fabricación no estandarizado	6	66	396	24,414	74,352
C7	Falta de programas	3	48	144	8,877	83,230
C8	Programas errados	4	64	256	15,782	99,013
C9	Material defectuoso	0	0	0	0	99,013
C10	Falta de mantención	1	16	16	0,986	100

Fuente: Elaboración Propia.

Del gráfico 5 se desprende que solucionando las causas raíces 4, 5 y 6 se soluciona el 73,24% del problema, es decir, es necesario estandarizar los procesos de fabricación de las órdenes, crear métodos de control de calidad y personal que ejecute aquello.

A continuación se presenta el diagrama de Pareto para las causas raíces del problema.

Gráfico 5 Diagrama de Pareto órdenes no conformes.



Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, es posible calcular el nivel sigma que presenta este proceso, lo que se desarrolla a continuación.

$$DPU = \frac{10 \text{ defectos}}{50 \text{ órdenes}} = 0,2 \left[\frac{\text{defectos por}}{\text{unidad}} \right]$$

Ecuación 10 DPU órdenes erradas.

$$DPO = \frac{0,2}{5 \text{ oportunidades}} = 0,04 \left[\frac{\text{defectos por}}{\text{oportunidad}} \right]$$

Ecuación 11 DPO órdenes erradas.

$$DPMO = 0,04 \cdot 10^6 = 40.000 \left[\frac{\text{Defectos por millón}}{\text{de oportunidades}} \right]$$

Ecuación 12 DPMO órdenes erradas.

Por último, de la tabla “conversión de fracciones defectuosas a nivel sigma” (Anexo III), se tiene que el nivel sigma para este proceso corresponde a un $3,3\sigma$, lo que significa que el proceso presenta 40.000 defectos por millón de oportunidades y un 96,4% de fabricar órdenes correctas.

4.3.1.2 Sobreproducción

Al analizar la empresa se observa que trabaja por proyectos, es decir, cuando un cliente solicita algún producto se comienza a fabricar. Por lo tanto, no existen desperdicios por sobreproducción. Es así como este punto no se considera para este caso.

4.3.1.3 Inventario

Debido a que la empresa trabaja bajo pedido, se realiza la cantidad justa de piezas para la producción. Es por esto que la empresa no posee exceso de inventario que aumenten sus costos.

4.3.1.4 Exceso de movimiento

Dentro de la fábrica no existe un lugar específico para almacenar tanto las órdenes terminadas como las por procesar en algún área, lo que genera un exceso de movimiento de éstas.

Por otro lado, el exceso de movimiento genera un desorden dentro de la fábrica, lo que conlleva a la pérdida de órdenes, haciendo que la entrega del cabezal se retrase, traduciéndose en costos para la empresa.

De esta forma es que las órdenes perdidas por exceso de movimiento, identificados en este estudio, son 7 lo que corresponde a un 14% sobre el total de las órdenes del cabezal, las cuales deben ser buscadas o fabricadas nuevamente.

Este problema será analizado a través de la herramienta 5W+1H, que se presenta a continuación.

Tabla 9 Aplicación herramienta 5W+1H.

¿Qué sucede con el proceso?	Se pierden órdenes en la fábrica debido al exceso de movimiento que éstas sufren.
¿Por qué?	<ul style="list-style-type: none"> • Porque los encargados de la planificación del proceso no han determinado un lugar específico para dejar las piezas. • Porque no se realiza un conteo en cada área de las órdenes que se deberían tener. • Porque los coordinadores no mantienen un orden de las áreas. • Porque al no tener un lugar definido para depositar las órdenes, pasan de un sitio a otro. • Porque al momento de mover las órdenes de un área a otra no se cuenta la cantidad que salió de un lugar y la que entró a otro.
¿Dónde?	A lo largo de todo el proceso.
¿Quién?	Todos quienes intervienen en el proceso.
¿Cuándo?	En los momentos que las órdenes pasan de un área a otra.
¿Cómo?	Mediante el movimiento de las órdenes de un área a otra.

Fuente: Elaboración Propia.

Además de este análisis, es posible calcular el nivel sigma que representa la pérdida de órdenes debido al exceso de movimiento, lo que se muestra a continuación.

$$DPU = \frac{7 \text{ defectos}}{50 \text{ órdenes}} = 0,14 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{unidad} \end{array} \right]$$

Ecuación 13 DPU órdenes pérdidas.

$$DPO = \frac{0,14}{1 \text{ oportunidad}} = 0,14 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{oportunidad} \end{array} \right]$$

Ecuación 14 DPO órdenes pérdidas.

$$DPMO = 0,14 \cdot 10^6 = 140.000 \left[\begin{array}{l} \text{Defectos por millón} \\ \text{de oportunidades} \end{array} \right]$$

Ecuación 15 DPMO órdenes pérdidas.

Luego del cálculo del DPMO, es necesario ir a la tabla del Anexo III, con el fin de obtener el nivel sigma, el cual es $2,6\sigma$. Esto equivale a 140.000 defectos por millón de oportunidades y 86,4% de obtener órdenes conformes.

4.3.1.5 Detección de procesos irracionales

Dentro del proceso analizado en la empresa, se observaron desperdicios por concepto de procesos irracionales, ya que al generar una orden se detallan todas las operaciones que se deben realizar en la pieza. Sin embargo, este desperdicio es remediado al momento de ser fabricado, puesto que los operadores saben cuáles son los procesos que se les deben realizar a cada orden, por lo que ejecutan sólo las acciones que corresponden.

4.3.1.6 Transporte

El cabezal es una pieza utilizada para la fabricación de la máquina paletizadora, por lo tanto, éste es producido y entregado a un cliente interno.

Al ser entregado a un cliente interno no se generan pérdidas por transportes dentro del proceso, sino que sólo son trasladadas al área en donde se van a utilizar.

4.3.1.7 Tiempos de espera

El desperdicio “tiempos de esperas” se puede dividir en dos tipos: los tiempos que esperan los materiales o piezas para ser procesados y los tiempos de preparación o *setup* de máquinas y operadores. Estas dos categorías se describen a continuación.

- **Materiales a ser procesados**

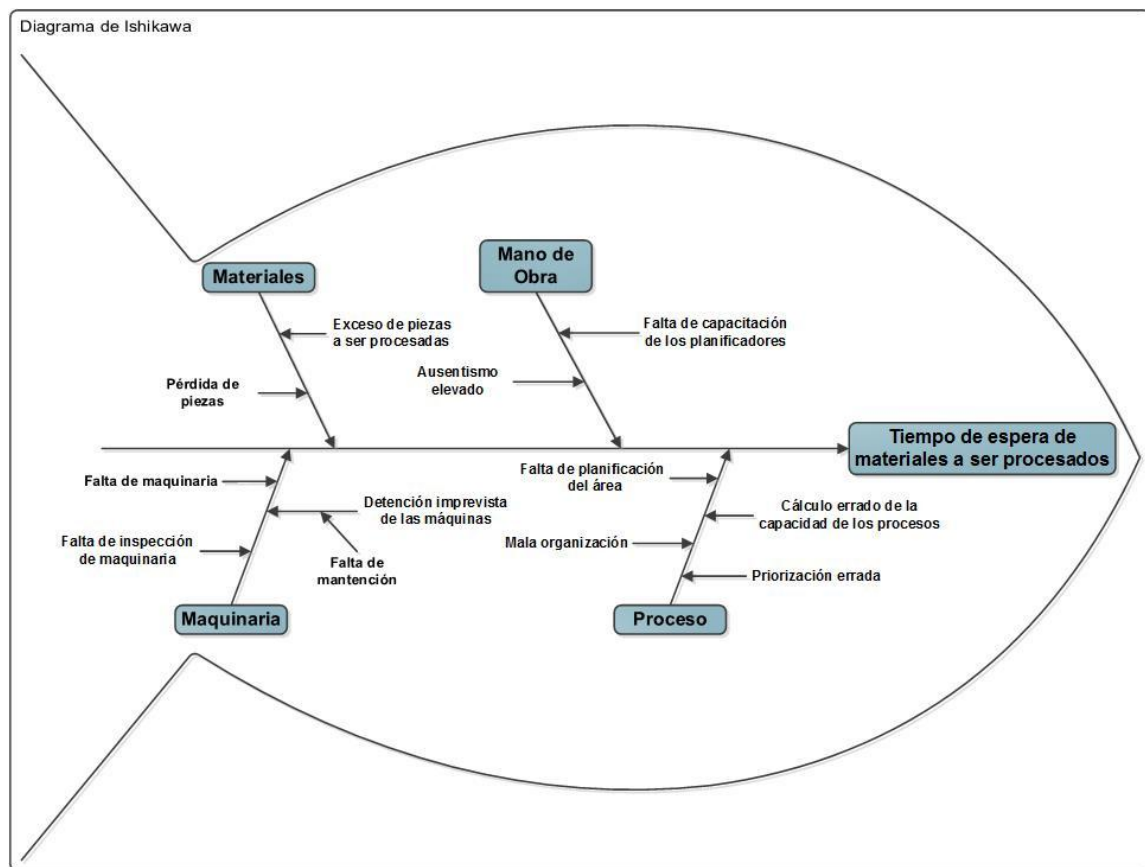
Como la empresa tiene el criterio de prioridades mencionado anteriormente, se tiene que en la fabricación del cabezal las piezas tuvieron que esperar para ser procesadas, ya que tenían una prioridad menor a otros proyectos. En este caso se identifican grandes pérdidas, ya que significó el retraso en la entrega del cabezal al cliente interno.

Para un mayor entendimiento se muestra en el Anexo VI las tablas que contienen los tiempos de espera de cada orden para ser procesada.

Para un mayor análisis de este desperdicio se elabora un diagrama de Ishikawa, con el fin de identificar las causas raíces del problema, el cual se muestra a continuación.

Cabe destacar que sólo se consideraron las cuatro “M” convencionales, excluyendo medio ambiente y medición, debido a que no influyen en este análisis en particular, es decir, no se encontraron causas tales como: contaminación, temperatura del medio ambiente, descalibraciones en equipos, fallas en circuitos, entre otros.

Ilustración 19 Diagrama de Ishikawa Tiempo de espera.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de esto es posible realizar el diagrama de Pareto, con el fin de analizar con mayor profundidad las causas raíces del problema. A continuación se presenta el desarrollo de esta herramienta.

La tabla 10 presenta las causas raíces de los tiempos de espera de materiales a ser procesados con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, tiempos de esperas, entre otros.

Tabla 10 Causas raíces de los tiempos de espera de materiales a ser procesados.

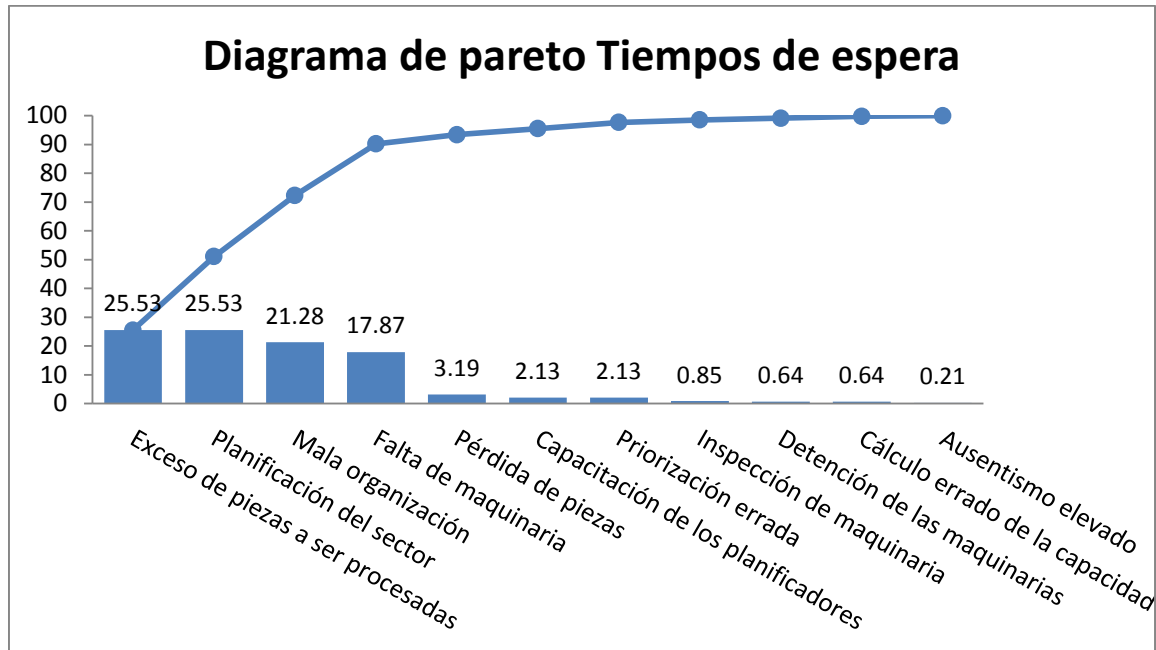
N° Causas	Causas	Frecuencia	Días de espera	Total tiempo de espera	%	Porcentaje acumulado
C1	Falta de capacitación de los planificadores	2	5	10	2,127	2,127
C2	Ausentismo elevado	1	1	1	0,212	2,340
C3	Exceso de piezas a ser procesadas	10	12	120	25,531	27,872
C4	Pérdida de piezas	5	3	15	3,191	31,063
C5	Falta de maquinaria disponible	7	12	84	17,872	48,936
C6	Falta de inspección de maquinaria	2	2	4	0,851	49,787
C7	Detención imprevista de las maquinarias	3	1	3	0,638	50,425
C8	Falta de planificación del área	10	12	120	25,531	75,957
C9	Mala organización	10	10	100	21,276	97,234
C10	Cálculo errado de la capacidad del proceso	1	3	3	0,638	97,872
C11	Priorización errada	2	5	10	2,127	100

Fuente: Elaboración Propia.

Del gráfico 6 se desprende que solucionando las causas raíces 3, 8 y 9 se soluciona el 72,34% del problema, es decir, es necesario eliminar la mala organización y falta de planificación dentro de las áreas, lo que ayudará a disminuir el exceso de piezas a ser procesadas.

A continuación se presenta el diagrama de Pareto para las causas raíces del problema.

Gráfico 6 Diagrama de Pareto tiempos de espera.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Preparación o *setup***

El tiempo de *setup* se refiere al tiempo de preparación o de ajuste de una máquina para realizar determinada pieza. Es así como la empresa estima que el tiempo óptimo de *setup* es de máximo 30 minutos, ya que se considera que siendo superior a éste representará pérdidas para la empresa.

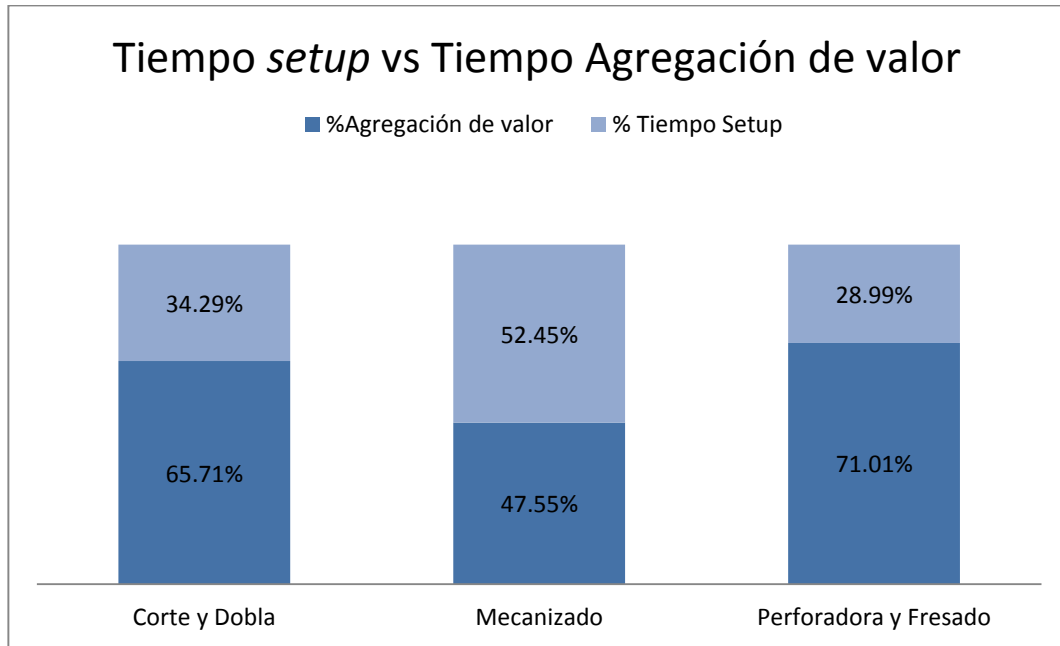
Como se observa en las tablas 38, 39 y 40 del Anexo IV, varios de los procesos superan esta especificación, por lo que en este punto se presentan desperdicios por concepto de tiempos de espera.

En el gráfico 7, se muestra el porcentaje de tiempo de *setup* en contraste con los tiempos de agregación de valor que se realizó en cada orden, divididos por área.

Del gráfico se desprende que el área que presenta mayor porcentaje de tiempos de *setup*, en relación al tiempo de ciclo, es el de mecanizado. Esto se debe a que los

programadores no realizan los programas necesarios, siendo los operadores quienes manipulan los Tornos CNC para obtener las piezas deseadas.

Gráfico 7 Tiempos de *Setup* vs Tiempos de agregación de valor.



Fuente: Elaboración propia.

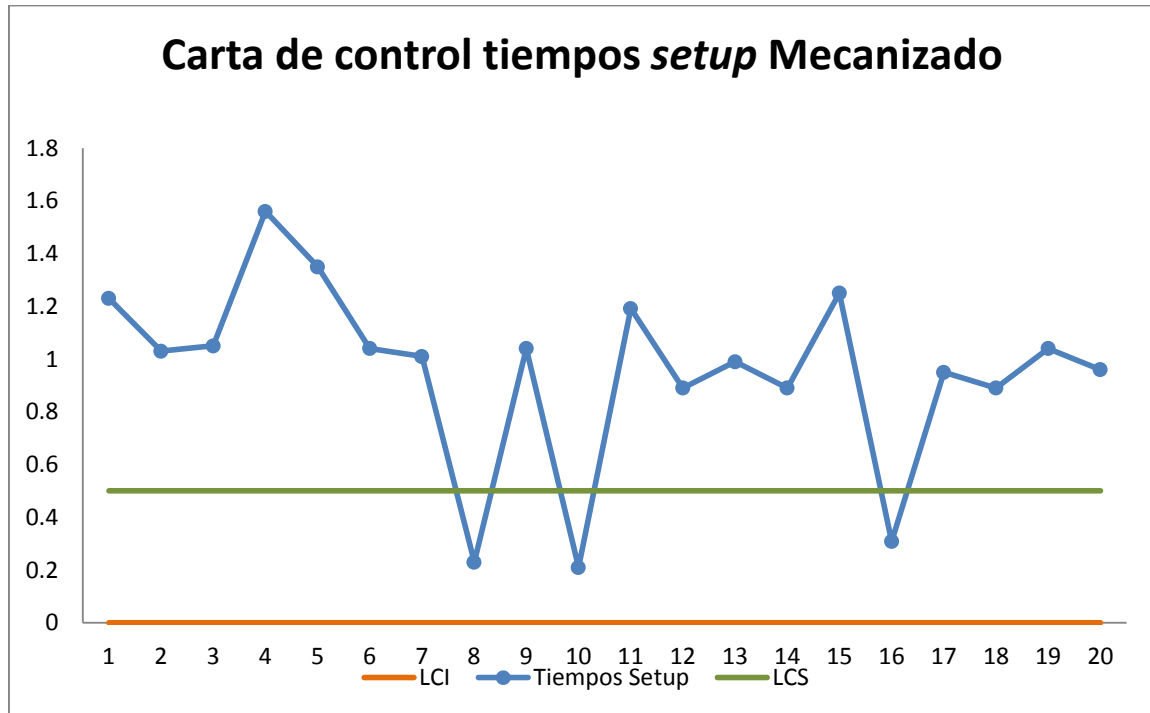
Como se mencionó anteriormente, el área que contiene mayor porcentaje en los tiempos de *setup* es el de mecanizado, es por esto que se realiza una carta de control en dicha área, con el fin de estimar las cantidades de fallas que se han obtenido dentro de este proceso.

Del gráfico 7 se desprende que el límite inferior y superior para los tiempos de *setup* son 0 y 30 minutos respectivamente, es decir, 0 y 0,5 horas. Cabe destacar que estos límites son propuestos por la empresa.

Por otra parte, se tienen los tiempos de *setup* medidos en el área de mecanizado lo que muestra sólo 3 puntos dentro de los límites, teniendo los otros 17 tiempos fuera de los límites de control. Esto hace referencia a que el indicador de tiempo de *setup* propuesto por la empresa tiene un 15% de cumplimiento en esta área. Con esto se puede concluir que si la empresa quiere cumplir el indicador propuesto debe tener un plan de acción con el fin de reestructurar el proceso en estudio o simplemente debe cambiar los valores de dicho indicador.

A continuación se presenta el gráfico 8 con la carta de control anteriormente mencionada.

Gráfico 8 Carta de control de tiempos de *setup* Mecanizado.



Fuente: Elaboración propia.

Posterior al cálculo del cumplimiento de los límites de control, es posible calcular el nivel sigma que se presenta el sistema, lo que se muestra a continuación.

$$DPU = \frac{17 \text{ defectos}}{50 \text{ órdenes}} = 0,85 \left[\frac{\text{defectos por}}{\text{unidad}} \right]$$

Ecuación 16 DPU tiempo de *setup*.

$$DPO = \frac{0,85}{1 \text{ oportunidad}} = 0,85 \left[\frac{\text{defectos por}}{\text{oportunidad}} \right]$$

Ecuación 17 DPO tiempo de *setup*.

$$DPMO = 0,85 \cdot 10^6 = 850.000 \left[\begin{array}{l} \text{Defectos por millón} \\ \text{de oportunidades} \end{array} \right]$$

Ecuación 18 DPMO tiempo de *setup*.

De los cálculos anteriores y la tabla “conversión de fracciones defectuosas a nivel sigma” (Anexo III), se tiene que el nivel sigma de este proceso en particular es de 2σ , lo que implica 850.000 defectos por millón de oportunidades y 69,1% de obtener valores dentro de los límites de control establecidos por la empresa.

4.4 Análisis complementarios

Para complementar el análisis presentado anteriormente se realizan indicadores de desempeño representativos del proceso y que ayudarán a controlar el mismo.

4.4.1 Indicadores del proceso

Los indicadores tienen como objetivo medir el proceso, para de esta forma tener conocimiento de la situación actual y aplicar herramientas que permitan controlar el proceso y así cumplir con las metas especificadas. Estas metas deben establecerse según los objetivos de cada proceso, es por esto que las metas para este estudio serán las siguientes.

- Órdenes no conformes: Se estima que el nivel aceptable de conformidad en las órdenes es de un 95% (Nivel Sigma 2), por lo tanto, la tolerancia aceptada para este proceso será de un máximo de 5% (2,5 órdenes).
- Cumplimiento promedio de tiempo de *Setup* por área: Se espera que el cumplimiento de los tiempos de *Setup* correspondan a los límites propuestos por la empresa, lo que corresponde a 20 ± 10 min.
- Órdenes perdidas: Corresponde a la misma especificación estimada para las órdenes no conformes, es decir, $\leq 5\%$ de órdenes perdidas.
- Cumplimiento de tiempo de espera: En este caso, la empresa estipula una tolerancia, la cual corresponde a un máximo de 10 días de espera de las órdenes dentro de todo el ciclo del proceso.

- Cumplimiento de tiempo de entrega: De la simulación del escenario actual, se obtiene que el tiempo de fabricación puro es de 15 días aproximadamente. Sin embargo, se deben considerar factores como los límites de tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas, y que la empresa no tiene una completa capacidad para trabajar en este proyecto (por los otros proyectos en proceso), es por esto que se estima que un tiempo aceptable de entrega sería de máximo 2 meses.

A continuación se presentan indicadores del proceso, en la tabla 11.

Tabla 11 Indicadores de control del proceso.

Nombre indicador 1	Órdenes no conformes
Unidad de Medida	Porcentual (%)
Frecuencia de Análisis	Mensual
Fórmula de cálculo	$\text{Órdenes no conformes} = \frac{\text{Cantidad de órdenes no conformes}}{\text{Cantidad Total de órdenes}} \cdot 100$ Ecuación 19 KPI Órdenes no conforme
Meta	≤ 5%
Nombre indicador 2	Cumplimiento de tiempo promedio de Setup por área
Unidad de Medida	Minutos u Horas
Frecuencia de Análisis	Mensual
Fórmula de cálculo	$\text{Cumplimiento Setup} = \text{Tiempo promedio de Setup}$ Ecuación 20 KPI Cumplimiento de Setup
Meta	20 ± 10 min o 0,33 ± 0,17 horas
Nombre indicador 3	Órdenes perdidas
Unidad de Medida	Porcentual (%)
Frecuencia de Análisis	Mensual
Fórmula de cálculo	$\text{Órdenes Perdidas} = \frac{\text{Cantidad de órdenes perdidas}}{\text{Cantidad Total de órdenes}} \cdot 100$ Ecuación 21 KPI Órdenes perdidas
Meta	≤ 5%
Nombre indicador 4	Cumplimiento de tiempo de entrega
Unidad de Medida	Meses
Frecuencia de Análisis	Mensual
Fórmula de cálculo	$\text{Cumplimiento Entrega} = \text{Tiempo de entrega real}$ Ecuación 22 KPI Cumplimiento entrega
Meta	≤ 2 meses
Nombre indicador 5	Cumplimiento de tiempo de espera
Unidad de Medida	Días
Frecuencia de Análisis	Mensual
Fórmula de cálculo	$\text{Cumplimiento Espera} = \text{Tiempo de espera}$ Ecuación 23 KPI Cumplimiento esperas
Meta	≤ 10 días.

Fuente: Elaboración propia.

Es así como se obtienen los siguientes valores para cada indicador.

Tabla 12 Cálculo KPI's situación actual

Nombre KPI	Cálculo	Meta	Cumple
Órdenes no conformes	$\frac{10}{50} \cdot 100 = 20\%$	$\leq 5\%$	No
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Corte y Dobla	0,19 horas	0,5 horas	Si
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Mecanizado	0,96 horas	0,5 horas	No
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Fresado y Perforado	0,28 horas	0,5 horas	Si
Piezas Perdidas	$\frac{7}{50} \cdot 100 = 14\%$	$\leq 5\%$	No
Cumplimiento tiempo de entrega	4,3 meses	≤ 2 meses	No
Cumplimiento tiempo espera Mecanizado	7,7 días	10 días	Si
Cumplimiento tiempo espera Fresado y Perforado	15,2 días	10 días	No

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Simulación de la situación actual en Arena

La simulación es una herramienta que permite el análisis de la situación de cualquier tipo de sistema. Con el fin de tener una visión global de la fabricación de los cabezales y poder experimentar distintos escenarios es que se utiliza la simulación y el software Arena.

4.5.1 Modelo conceptual

Para poder realizar la simulación del sistema actual es necesario generar primero el modelo conceptual. A continuación se presenta el desarrollo de este modelo.

4.5.1.1 Objetivo del modelo

El principal objetivo de la simulación realizada es obtener un modelo validado del sistema real que ha sido estudiado en este trabajo, para de esta forma permitir un mayor análisis de la situación actual de la empresa y tener la facilidad de someter el modelo a distintos escenarios posibles para saber cuál será el comportamiento del mismo.

De esta forma se espera poder experimentar con el modelo para simular distintos escenarios en búsqueda de aquel que represente mayores beneficios para la empresa. Así se podrá presentar una simulación del comportamiento del sistema con la propuesta de mejora implantada.

4.5.1.2 Supuestos y limitaciones del sistema

Todo proyecto de simulación necesita establecer sus limitaciones o restricciones y los supuestos en lo que se basa. Es importante delimitar lo que se pretende hacer para establecer el alcance del proyecto, lo que se presenta como limitaciones. Los supuestos establecen las condiciones en que se basa y se realiza la simulación.

Las limitaciones son todos aquellos elementos que restringen la actividad, y en este caso, al modelo del mismo. Estas limitaciones pueden ser de tipo: tiempo de ejecución del proyecto, presupuestos, equipos, materiales, máquinas, recursos humanos, entre otros.

Una suposición corresponden a las cosas que se consideran ciertas sin ser probadas. Son premisas en las que se basan los razonamientos lógicos.

La primera limitación que se debe realizar para el modelo es que sólo se realizará para el proyecto estudiado, es decir, para el proceso de fabricación de las órdenes que componen al cabezal de la máquina paletizadora que produce la empresa Máquinas Sanmartin.

Por lo tanto, como limitaciones del modelo se considerarán la cantidad de máquinas y operadores con las que se pueden utilizar para el desarrollo de las órdenes que componen el cabezal. Es así como los recursos utilizados corresponden a un total de 10 máquinas y 15 operadores, además de los materiales necesarios para el desarrollo de las órdenes de fabricación.

Máquinas: Las máquinas utilizadas para la fabricación de las partes del cabezal están directamente asociadas a las áreas, por lo que en Corte y Dobra se cuenta cuatro máquinas de corte. Para el área de mecanizado sólo se utilizará un Torno CNC y para el área de Perforado y Fresado se cuenta con tres tipos de máquinas. Finalmente, para el caso del área de Pintura se cuenta con una línea de pintura, en donde se preparan las piezas colgándolas en una línea móvil, luego estas son pintadas en la cabina de pintura y posteriormente las

órdenes pasan por un horno donde se seca la pintura y se les da el acabado final. Para el área de Montaje no se considera maquinaria, pero sí las herramientas necesarias para realizar el montaje del cabezal.

Operadores: Los operadores son todas aquellas personas que se dedican a transformar la materia prima en las órdenes requeridas, a través de la utilización tanto de materiales como de maquinaria. Es así como se considera un operador por máquina en todos las áreas, excepto en pintura y montaje, ya que debido a alto nivel de órdenes que llegan es necesario contar con mayor número de personas (todas las órdenes se juntan en el área de pintura y montaje). Por lo tanto, en el área de Pintura y Montaje son necesarias 3 operadores en cada uno.

Materiales: Los materiales se refieren a las materias primas que serán transformadas gracias al trabajo de las máquinas y los operadores.

Como supuestos se tiene que los operadores involucrados en el proceso de fabricación de las órdenes del cabezal trabajan de lunes a viernes, 8.5 horas al día y las máquinas asociadas funcionan en el mismo horario.

Se considera que los materiales utilizados son de óptima calidad y se presentan en la cantidad necesaria para el desarrollo de la producción del cabezal, por lo que no se realizan cambios o compras de éstos luego de que las órdenes hayan llegado a fabricación.

Por último, se supone que el funcionamiento del resto de la fábrica se mantiene constante, ya que este trabajo solo afectará al proyecto estudiado.

4.5.1.3 Clasificación de los componentes del sistema

El sistema de manufactura de cabezales engloba diversos procesos en distintas áreas de producción (cada una de estas áreas fueron explicadas en el punto 4.1). Para un mejor entendimiento del proceso de fabricación de dicho producto se tiene lo siguiente:

Llega el pedido del cliente y con esto genera las órdenes de fabricación de cada pieza del cabezal, las cuales son transportadas a la fábrica, llegando todas juntas. El primer área donde son procesadas es el área de Corte y Dobla, donde se tienen máquinas de distintos tipos de corte (las cuales se detallan en el punto 4.1.1). Cabe destacar que existen 3 órdenes de fabricación que no necesitan ser manufacturadas en esta área, por lo tanto son transportadas al área siguiente.

Luego de salir de Corte y Dobla ingresan a Mecanizado, donde se tienen tornos CNC para la transformación de la pieza (en el producto estudiado no se utilizaron los tornos convencionales). Dentro de esta área se procesan 20 órdenes de fabricación. Otras 22 órdenes no necesitan de esta área, las cuales pasan directo a Perforado y Fresado.

Posterior a esto, las ordenes pasan por el área de Perforado y Fresado (en el punto 4.1.3, se pueden observar las máquinas utilizadas en este área).

Para finalizar el proceso de fabricación del cabezal, todas las piezas son transformadas en el área de Pintura, para luego ser montado el producto final en el área de Montaje.

Cabe destacar que el proceso no se genera inmediatamente dentro de la fábrica, ya que se están manufacturando más productos y que quizás tienen mayor prioridad (concepto explicado en el punto 4.3), es por esto que se generan altos tiempos de esperas dentro de todo el proceso (análisis realizado en el punto 4.3.1.7), es decir, cada vez que salen las órdenes de un área y tienen que ser procesadas en otra área, éstas tienen que esperar hasta que no hayan órdenes de proyectos que tengan mayor prioridad, ya que si hay deben procesar esas primero y cuando no hayan más, procesar las de los cabezales (por la baja prioridad).

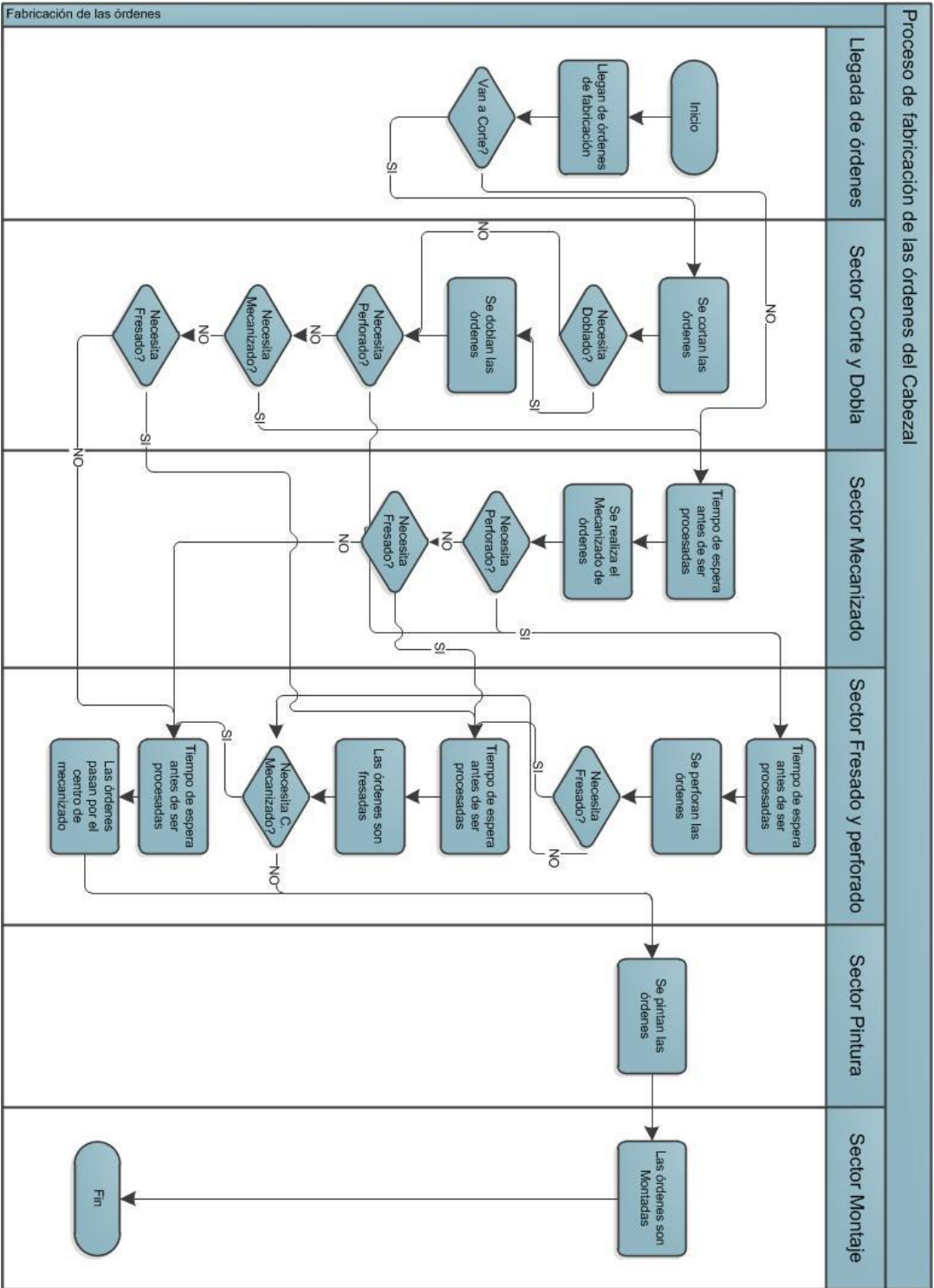
Los tiempos de espera de los materiales a ser procesados se consideran parte del proceso mismo, por lo que se deben contemplar dentro del modelo. Los tiempos de espera significativos de las órdenes en este modelo se encuentran antes de ser procesadas en las siguientes máquinas:

- Perforadora.
- Centro de mecanizado.
- Fresadora.
- Torno CNC.

Además, se tiene que un día laboral dentro de esta empresa corresponde a 8,5 horas, es decir, 08:30 min. Y que se trabajan 5 días a la semana (de lunes a viernes), gracias a esto y para obtener un mejor cálculo de los meses del ciclo total del proceso en estudio, se determina que un mes dentro de esta empresa corresponden a 20 días de 8,5 horas cada uno.

Con el fin de representar gráficamente este proceso, se elabora la ilustración 20, que contiene el flujo del proceso.

Ilustración 20 Flujo del proceso de fabricación de las órdenes del cabezal.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.4 Relaciones entre los componentes del sistema

Anteriormente fueron mencionadas las áreas que forman parte de este proceso, sin embargo, es necesario tener en cuenta la organización o disposición de estas áreas. Es por esto que a continuación se presenta la ilustración 21 donde se muestra el *layout* de la fábrica.

De la ilustración de *layout* presentada se tiene que las distancias entre las máquinas, en metros, son como se muestran en la tabla 13.

Tabla 13 Distancias entre máquina y máquina en metros.

	Mecanizado	Doblado	Perforado	Fresado	Centro Mecanizado	Pintura	Montaje
Sierra	8		5			9	
Chorro de agua	6		3,5	7	2		
Plasma					4		
Láser	9	1	7,5		6	12	
Doblado			6			6	
Mecanizado				8	5	2,5	
Perforado				9		7	
Centro Mecanizado						4	
Fresado						4	
Pintura							2

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 21 Lay out de la fábrica estudiada.

Layout para la planta de fabricación de cabezales



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmatín.

4.5.1.5 Representación formal del modelo conceptual

Posteriormente, es posible identificar los fundamentos de la simulación, los que se presentan a continuación.

4.5.1.5.1 Modelo del sistema

Se establece como modelo al proceso de manufactura del cabezal de la máquina paletizadora, dentro de la empresa Máquinas Sanmartin, excluyendo todos los otros procesos de fabricación que realiza la empresa.

4.5.1.5.2 Entidades del sistema

La entidad que se identifica en este proceso son las órdenes de fabricación del cabezal, las cuales llegan a la fábrica todas en el mismo instante para comenzar la manufactura del producto. El número de entidades que ingresan al proceso son 50.

4.5.1.5.3 Procesos del sistema

Se determinan los procesos del sistema, apoyándose en la ilustración 20 (Flujo del proceso de fabricación de las órdenes del cabezal), obteniendo los siguientes procesos:

- Proceso de entrada del sistema como “llegada de órdenes de fabricación”.
- Proceso con corte, en las siguientes máquinas:
 - Corte con Laser.
 - Corte con Plasma.
 - Corte con chorro de agua.
 - Corte con sierra.
- Proceso en máquina Doblado.
- Proceso en máquina Perforadora.
- Proceso en máquina Centro de Mecanizado.
- Proceso en máquina Fresa.
- Proceso en máquina Torno CNC.

- Proceso de Búsquedas o Reprocesos.
- Proceso de Pintura.
- Proceso de Montaje.
- Fin del proceso que corresponde al cabezal terminado.

4.5.1.5.4 Recursos del sistema

Se establecen para cada área los siguientes recursos.

- Área de Corte y Dobra: se dispone de una máquina de corte a laser, una máquina de corte a chorro de agua, una máquina de plasma y una sierra. Todas estas máquinas son maniobradas por un operador cada una.
- Área de mecanizado: para la fabricación del cabezal, se dispone de un torno CNC con un operador que controla dicha máquina.
- Área de perforado y fresado: esta área dispone de un centro de mecanizado, una máquina perforadora y una máquina de fresado, cada máquina es maniobrada por un operador.
- Área de pintura: en esta área existe una línea de producción donde son colgadas todas las piezas y pintadas. Antes de entrar a esta área deben estar todas las piezas del cabezal listas, con el fin de que entren y salgan todas juntas. En esta área existen 3 operadores que trabajan en conjunto.
- Área de montaje: al salir del área anterior (todas las piezas juntas) deben ir al área de montaje, donde 3 operadores montan el cabezal, éstos se ayudan de un set de herramientas cada uno.

4.5.1.5.5 Variables del sistema

Las variables fundamentales del sistema son:

- Tiempos de ciclo de cada proceso.
- Tiempos de espera de las órdenes.
- Tasa de defecto que presentan las órdenes.

Se espera que estas variables sean indicadores de desempeño y ayuden en el análisis y en la toma de decisiones dentro del modelo.

4.5.1.5.6 Atributos del sistema

Se identifica como atributo el proceso por el cual debe pasar cada orden de fabricación, teniendo así 5 tipos:

- TIPO 1: Los que son manufacturados sólo por corte y dobla.
- TIPO 2: Los que son transformados sólo por mecanizado.
- TIPO 3: Los que son tratados por el área de corte y dobla y por el área de mecanizado.
- TIPO 4: Los que son procesados por el área de corte y dobla y por el área de fresado y perforado.
- TIPO 5: Los que son elaborados en las tres áreas (corte y dobla, fresado y perforado y mecanizado).

Cabe destacar que todas las órdenes de fabricación son procesadas en el área de pintura y montaje (penúltima y última etapas de producción); al ser obligatorio la entrada a dichas áreas, no se incorporan en la clasificación, debido a que se asume que pasan por ahí.

4.5.1.6 Datos para el modelo

Los datos de entrada del modelo fueron obtenidos en el ejercicio de la fabricación de cabezales dentro de la empresa Máquinas Sanmartin, sin embargo, es necesario depurar los datos con el fin de obtener la información necesaria para el modelo en el software Arena.

4.5.1.6.1 Distribuciones de probabilidad de los procesos

Con el fin de obtener los datos para el modelo se utiliza la herramienta Input Analyzer, la cual al añadir los tiempos de cada proceso (Anexo IV), arroja la distribución de probabilidad a la cual se ajustan dichos los datos.

En el Anexo V se presentan los gráficos de cada proceso con la distribución arrojada por *Input Analyzer*.

A continuación se presentan los procesos del sistema de fabricación de cabezales con sus respectivas distribuciones, medidas en segundos.

- Llegada de órdenes: Constant, value 1, con 50 entidades por arriba.
- Corte con sierra: $140 + \text{WEIB}(1.28\text{e}+003 , 0.661)$.
- Corte con plasma: Constant, value 969.
- Corte con laser: $667 + \text{WEIB}(1.88\text{e}+003 , 0.538)$.
- Corte con chorro de agua: $2.15\text{e} + 003 + \text{WEIB}(3.15\text{e}+003 , 0.433)$.
- Doblado: Constant, value 1440.
- Mecanizado: $3.06\text{e} + 003 + \text{EXPO}(4.3\text{e} + 003)$.
- Centro mecanizado: $2.62\text{e} + 003 + \text{GAMM}(1.45\text{e} + 004 , 0.376)$.
- Fresado: $1.25\text{e} + 003 + \text{EXPO}(3.3\text{e} + 003)$.
- Perforado: $184 + \text{EXPO}(582)$.
- Búsqueda o Reprocesos: Constant, value 30600.
- Pintura: Constant, value 576.
- Montaje: Constant, value 91800.

4.5.1.6.2 Distribuciones de probabilidad de los tiempos de espera

Como se identificaron elevados tiempos de espera de las órdenes (Anexo VI), se analizaron las respectivas distribuciones. Los gráficos de las distribuciones arrojados por la herramienta *Input Analyzer* se muestran en el Anexo VII y a continuación se presentan las distribuciones de probabilidad, medidas en segundos.

- Demora de las órdenes antes de ser procesadas en torno CNC, sector mecanizado: $1.55e+005 + 1.45e+006 * \text{BETA}(0.902, 0.779)$.
- Demora de las órdenes antes de ser procesadas en perforadoras: $2.43e+005 + 1.39e+006 * \text{BETA}(1.19, 0.826)$.
- Demora de las órdenes antes de ser procesadas en centro de mecanizado: $2.43e+005 + 1.53e+006 * \text{BETA}(0.157, 0.0556)$.
- Demora de las órdenes antes de ser procesadas en fresadoras: UNIF($5.86e+004, 1.47e+006$).

4.5.1.6.3 Distribuciones de probabilidad del transporte de las órdenes

Al transportar las órdenes de una máquina a otra, con el fin de que avance su proceso de producción, lleva consigo tiempos de transportes que son significativos dentro del modelo.

El transporte dentro de la fábrica se realiza con una máquina transportadora, la cual tiene una velocidad de $42[m/s]$; al tener los datos de las distancias entre una y otra máquina es posible calcular los tiempos de transportes. Sus distribuciones son normales, al valor obtenido del cálculo anteriormente mencionado y con una desviación estándar de 5%.

A continuación se presentan las distribuciones de cada transporte, en segundos.

- Transporte Sierra – Perforadora: NORM (7.14, 0.05).
- Transporte Sierra – Torno CNC: NORM (11.43, 0.05).
- Transporte Sierra – Pintura: NORM (12.86, 0.05).
- Transporte Laser – Dobladora: NORM (1.43, 0.05).
- Transporte Laser – Centro de Mecanizado: NORM (8.57, 0.05).
- Transporte Laser – Perforadora: NORM (10.71, 0.05).
- Transporte Laser – Torno CNC: NORM (12.86, 0.05).
- Transporte Laser – Pintura: NORM (17.14, 0.05).
- Transporte Plasma – Centro de Mecanizado: NORM (5.71, 0.05).
- Transporte Chorro de agua – Centro de Mecanizado: NORM (2.86, 0.05).
- Transporte Chorro de agua – Perforadora: NORM (5, 0.05).

- Transporte Chorro de agua – Fresa: NORM (10, 0.05).
- Transporte Chorro de agua – Torno CNC: NORM (8.57, 0.05).
- Transporte Dobladora – Perforadora: NORM (8.57, 0.05).
- Transporte Dobladora – Pintura: NORM (8.57, 0.05).
- Transporte Centro de Mecanizado – Pintura: NORM (5.71, 0.05).
- Transporte Perforadora – Fresa: NORM (12.86, 0.05).
- Transporte Perforadora – Pintura: NORM (10, 0.05).
- Transporte Fresa – Pintura: NORM (5.71, 0.05).
- Transporte Torno CNC – Centro de Mecanizado: NORM (7.14, 0.05).
- Transporte Torno CNC – Fresa: NORM (11.43, 0.05).
- Transporte Torno CNC – Pintura: NORM (3.57, 0.05).
- Transporte Pintura – Montaje: NORM (2.86, 0.05).

4.5.1.7 Patrones esperados del comportamiento del modelo

Para el modelo descrito se espera que existan colas en los diversos procesos de fabricación de las órdenes del cabezal.

Se espera que la simulación entregue los tiempos de espera en cada proceso o departamento, los cuales se sabe son elevados debido a la baja prioridad del proyecto estudiado.

Además, se supone que el modelo arroje un tiempo similar al real, es decir, de aproximadamente 4,3 meses.

4.5.1.8 Cálculo del número óptimo de simulaciones

Para encontrar resultados confiables de la simulación, es necesario considerar el número de corridas de la simulación, ya que es un factor que afecta en forma directa los resultados de la misma. Al realizar una corrida de simulación, el resultado promedio de las variables presentan un periodo de estabilidad, que conforme transcurre el tiempo tienden a un estado estable. En este punto los valores de las variables representan una respuesta confiable.

Existen diversas formas para lograr la estabilización de un modelo de simulación. Una de las más usuales es determinar en qué momento se ha llegado a un estado estable en función de los resultados obtenidos.

Para calcular el número óptimo de corridas de simulación, cuando los estimadores no siguen una distribución normal, se debe usar el teorema de Tchebycheff, lo que se presenta en la siguiente ecuación.

$$n = \frac{m^2}{\alpha}$$

Ecuación 24 Teorema de Tchebycheff

Dónde:

- α : Probabilidad de error permitida.
- $\frac{1}{m}$: Número de desviaciones estándar máximo permitido sobre la media de la distribución a simular.

Debido a lo anteriormente explicado es que se calcula el número de corridas del modelo, también llamadas réplicas, de manera que los resultados obtenidos presenten la confiabilidad deseada.

Para el modelo realizado, la cantidad óptima de corridas corresponde al cálculo de la ecuación 24, donde el valor de la desviación estándar máximo permitido es igual a 6 y una probabilidad de error del 5%. Finalmente, el número óptimo de corridas corresponden a 720.

$$n = \frac{6^2}{0.05} = 720 \text{ corridas}$$

Ecuación 25 Cálculo del número óptimo de simulaciones.

4.5.2 Modelo computacional

Posterior al modelo conceptual, es posible realizar el modelo computacional del sistema. A continuación se presenta el desarrollo de este modelo.

4.5.2.1 Estructura del modelo de simulación

De acuerdo al modelo conceptual planteado anteriormente, se presenta el Anexo VII que muestra el modelo computacional propuesto para el software Arena.

4.5.2.2 Datos de entrada

Los datos de entrada que se deben ingresar al modelo son los que se mencionaron anteriormente en el punto 4.5.1.6.

En el modelo computacional se deben introducir cada una de estas distribuciones a los respectivos módulos, de procesos y de esperas, de cada área.

4.5.2.3 Descripción de módulos

Con el análisis y la identificación de los módulos realizado en el modelo conceptual de la simulación, es posible realizar la siguiente tabla con el fin de organizar los datos que se utilizarán en el modelo computacional. Es por esto que se presenta a continuación la tabla con los módulos de datos del modelo.

Tabla 14 Descripción de los módulos utilizados en el modelo computacional.

Módulos	Descripción
<i>Create</i>	Este módulo representa el inicio del sistema, el cual se identifica como "llegada de órdenes de fabricación". Este proceso es constante, teniendo un máximo de 1 llegada y esta consta de 50 entidades.
<i>Dispose</i>	Módulo que representa el término del proceso de fabricación del cabezal. Se representa como "Fin del proceso de fabricación".
<i>Process</i>	Los procesos del sistema modelado se dividen en dos, los <i>submodel</i> y estándar. Los <i>submodel</i> se utilizan en 4 situaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Para el proceso que se desarrolla en la máquina perforadora. • Para el proceso que se desarrolla en la máquina centro de mecanizado. • Para el proceso que se desarrolla en la máquina fresadora. • Para el proceso que se desarrolla en la máquina torno CNC. Por otra parte, los procesos estándar representan los procesos del sistema real, se localizan dentro de los <i>submodel</i> . A continuación se presentan los procesos estándar del sistema con sus respectivas distribuciones (punto 4.5.1.6, datos para el modelo).

	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con sierra: $140 + WEIB(1.28e+003 , 0.661)$. • Corte con plasma: Constant, value 969. • Corte con láser: $667 + WEIB(1.88e+003 , 0.538)$. • Corte con chorro de agua: $2.15e + 003 + WEIB(3.15e+003 , 0.433)$. • Doblado: Constant, value 1440. • Mecanizado: $3.06e + 003 + EXPO(4.3e + 003)$. • Centro mecanizado: $2.62e + 003 + GAMM(1.45e + 004 , 0.376)$. • Fresado: $1.25e + 003 + EXPO(3.3e + 003)$. • Perforado: $184 + EXPO(582)$. • Pintura: Contant, value 576. • Montaje: Contant, value 91800.
<i>Decide</i>	Los instantes de decisiones dependen del proceso que necesite cada orden, ocurriendo específicamente en el instante de llegada para ver qué tipo de orden es (de acuerdo a los atributos) y cuando salen de algún área. Es por esto que los módulos se representan como: ¿Tipo?, ¿las órdenes necesitan otro proceso?, ¿Necesita doblado?, entre otros.
<i>Assign</i>	Este módulo se utilizará en el modelo para representar la figura de la entidad, en este caso, de las órdenes de fabricación. Además, representa los distintos tipos de órdenes que existen dentro del sistema (mencionado anteriormente en los atributos del sistema). También representa el atributo tiempo de llegada, con el fin de obtener el tiempo total de ciclo, acompañada de un módulo récord y los atributos demora (de las distintas máquinas que presentan tiempos de demora). Por último, representa variables del sistema como el número de réplicas y el tiempo acumulado de espera de cada máquina que presenta demoras, con el fin de obtener datos relevantes para el análisis de la situación actual.
<i>Record</i>	Las estadísticas que se registrarán serán los números de defectos o reprocesos que se presentan en el sistema y el tiempo total de ciclo.
<i>Resource</i>	Son los mencionados anteriormente en recursos del sistema. Cabe destacar que tienen una capacidad fija.
<i>Queue</i>	Se identifican las colas de las entidades que esperan un proceso por ley FIFO (First In, First Out).
<i>Schedule</i>	El horario de trabajo de los operadores es de 8,5 horas al día de lunes a viernes.
<i>Set</i>	Se incluye este módulo con el fin de incorporar al modelo que en el proceso de pintura y montaje existe un conjunto de operadores (3 operadores para cada proceso) y además, en montaje existe un conjunto de 3 set de herramientas.
<i>Batch</i>	Este módulo se utiliza para juntas todas las órdenes de fabricación y que entren a montaje, con el fin de obtener el producto final.
<i>Store</i>	Se emplea este módulo del panel avanzado con el fin de almacenar y trasladar las órdenes que van a entrar a los procesos que presentan tiempos de espera.
<i>Delay</i>	Módulo del panel avanzado que en este caso se usará con 2 propósitos: <ul style="list-style-type: none"> • Representar el transporte de una máquina a otra, con su respectiva distribución.

	<ul style="list-style-type: none"> • Representar los tiempos de espera de las órdenes en los procesos que corresponden. <p>A continuación se presentan las distribuciones para los transportes de las órdenes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transporte Sierra – Perforadora: NORM (7.14, 0.05). • Transporte Sierra – Torno CNC: NORM (11.43, 0.05). • Transporte Sierra – Pintura: NORM (12.86, 0.05). • Transporte Laser – Dobladora: NORM (1.43, 0.05). • Transporte Laser – Centro de Mecanizado: NORM (8.57, 0.05). • Transporte Laser – Perforadora: NORM (10.71, 0.05). • Transporte Laser – Torno CNC: NORM (12.86, 0.05). • Transporte Laser – Pintura: NORM (17.14, 0.05). • Transporte Plasma – Centro de Mecanizado: NORM (5.71, 0.05). • Transporte Chorro de agua – Centro de Mecanizado: NORM (2.86, 0.05). • Transporte Chorro de agua – Perforadora: NORM (5, 0.05). • Transporte Chorro de agua – Fresa: NORM (10, 0.05). • Transporte Chorro de agua – Torno CNC: NORM (8.57, 0.05). • Transporte Dobladora – Perforadora: NORM (8.57, 0.05). • Transporte Dobladora – Pintura: NORM (8.57, 0.05). • Transporte Centro de Mecanizado – Pintura: NORM (5.71, 0.05). • Transporte Perforadora – Fresa: NORM (12.86, 0.05). • Transporte Perforadora – Pintura: NORM (10, 0.05). • Transporte Fresa – Pintura: NORM (5.71, 0.05). • Transporte Torno CNC – Centro de Mecanizado: NORM (7.14, 0.05). • Transporte Torno CNC – Fresa: NORM (11.43, 0.05). • Transporte Torno CNC – Pintura: NORM (3.57, 0.05). • Transporte Pintura – Montaje: NORM (2.86, 0.05). <p>También se presentan las distribuciones para los tiempos de espera de las órdenes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demora de las órdenes antes de ser procesadas en torno CNC, área mecanizado: $1.55e+005 + 1.45e+006 * \text{BETA}(0.902, 0.779)$. • Demora de las órdenes antes de ser procesadas en perforadoras: $2.43e+005 + 1.39e+006 * \text{BETA}(1.19, 0.826)$. • Demora de las órdenes antes de ser procesadas en centro de mecanizado: $2.43e+005 + 1.53e+006 * \text{BETA}(0.157, 0.0556)$. • Demora de las órdenes antes de ser procesadas en fresadoras: $\text{UNIF}(5.86e+004, 1.47e+006)$.
<i>Unstore</i>	Se emplea este módulo con el fin de desalmacenar las órdenes que vienen de los procesos de tiempos de espera y trasladarlas al proceso siguiente.
<i>ReadWrite</i>	Se utiliza este módulo con el objeto de obtener los datos de los tiempos de espera acumulados y sus respectivas réplicas en un documento Excel, con el fin de poder analizar dicha información.
<i>File</i>	Módulo de datos que se empleará con el fin de asignar los archivos donde se desea guardar la información del módulo <i>ReadWrite</i> .

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.4 Verificación del modelo

Para demostrar que el modelo es una representación concordante con el sistema estudiado, es necesario realizar la simulación en la herramienta Arena y alimentarlo con los datos establecidos en el modelo conceptual.

Es así como en el modelo computacional se agregaron las entidades identificadas como órdenes, las cuales son igual a 50. Sin embargo, en el modelo computacional se considera que sale solo una entidad, llamada cabezal, puesto que en el proceso de Montaje todas las órdenes se juntan.

Además, todos los procesos incluidos en el modelo conceptual se encuentran incluidos en el computacional, de manera que representan al sistema real.

También se incluyeron en el modelo computacional los recursos del sistema, los cuales fueron mencionados anteriormente en el punto 4.5.1.4, considerando una máquina y un operador en cada proceso, salvo en pintura que se consideró una línea de pintura y tres operadores y en el proceso de montaje que se compone por un set de tres cajas de herramientas junto a tres operadores.

Por último, se ingresaron las variables y los atributos mencionados en el modelo conceptual al modelo computacional.

Finalmente, al generar esta simulación con la inclusión de las distribuciones obtenidas luego del análisis de los datos, se verifica que el modelo concuerda con la realidad, puesto que el programa las acepta y se ejecuta de manera correcta.

4.5.2.5 Análisis de resultado y validación del modelo

Para validar la simulación realizada es necesario observar que sea una representación fiel del sistema estudiado. Esto se realiza a través del desarrollo del modelo computacional y el análisis de los resultados de éste.

Cabe destacar que en este caso se estima un porcentaje de error aceptable de $\pm 5\%$ en los indicadores del modelo y que se realizaron 720 réplicas de este.

De los informes obtenidos de la simulación realizada en Arena se tiene que:

- Se procesaron 50 órdenes, y luego se montaron, por lo que el número de entidades que salieron del sistema fue 1, que corresponde a 1 cabezal.
- Existe generación de colas, con un máximo de órdenes en espera, en los siguientes procesos:
 - Corte con chorro de agua: 18 órdenes.
 - Corte con láser: 25 órdenes.
 - Corte con sierra: 29 órdenes.
 - Mecanizado: 3 órdenes.
 - Plasma: 5 órdenes.
 - Doblado: 2 órdenes.
 - Fresadora: 1 orden.
 - Perforadora: 2 órdenes.
 - Centro de mecanizado: 4 órdenes.
 - Búsqueda o reprocesos: 7 órdenes.
 - Pintura: 2 órdenes.
- Para conocer el número de órdenes que pasa por cada máquina, se utiliza el promedio de todas las réplicas, los cuales:
 - 6 pasan por el centro de mecanizado.
 - 11 por el corte con chorro de agua.
 - 2 por la dobladora.
 - 6 por la fresadora.
 - 17 por el corte con láser.
 - 17 por la perforadora.
 - 1 por la plasma.
 - 18 por corte con sierra.
 - 20 por el torno CNC (área de mecanizado)

- 17 por reproceso.
- Los tiempos de espera promedio en las máquinas en que se incorporaron módulos de retraso son:
 - Centro de mecanizado: 18,7 días
 - Torno CNC: 7,7 días
 - Fresadora: 14,49 días
 - Perforadora: 12,4 días
- Las órdenes reprocesadas fueron 17.
- El tiempo total del proceso es de 89,6 días, lo que corresponde a 4,48 meses.

Con esto se tiene que el proceso está validado debido a su proximidad con la realidad del sistema estudiado. Además, se tiene que los patrones de comportamiento esperados del modelo se cumplen, ya que hubo generación de colas en diversos procesos, altos tiempos de espera y un tiempo total del proceso cercano al tiempo real de la fabricación de los cabezales.

En el Anexo IX se presentan los informes obtenidos de la simulación en Arena para la situación actual.

4.6 Conclusiones del análisis

Luego del análisis de la situación actual de la empresa, se desprende lo siguiente:

- La descripción y el estudio de la situación actual del proceso del cabezal es fundamental, ya que permite descubrir e identificar los problemas que se presentan, para determinar las oportunidades de mejora de éste.
- El proceso presenta diversos desperdicios que deben ser mejorados para obtener mayor calidad en la fabricación del cabezal.

- Los problemas identificados se deben principalmente a una mala planificación y organización del proceso, lo que es responsabilidad tanto de directivos como de mandos medios.
- La generación de indicadores permitirá un mayor control y una mejor identificación de problemas en la fabricación de las piezas del cabezal.
- Al analizar el tiempo total del proceso de fabricación del cabezal (4,3 meses aproximadamente) se obtiene que el mayor tiempo es generado por las esperas que tienen los materiales para ser procesados.
- Los principales problemas encontrados se relacionan a los productos defectuosos y la pérdida de órdenes, debido a que corresponde a un 34% del total de órdenes procesadas y los tiempos de espera de las órdenes para ser fabricadas, como de *setup* (ya que se obtiene un 85% de incumplimiento del rango propuesto por la empresa). Además, es posible considerar estos problemas como factores críticos de desperdicio dentro del proceso.
- Por otra parte, la tolerancia admitida por la empresa en el caso de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas son 10 días siempre y cuando sea de manera simultánea, ya que en caso contrario, la empresa se ve perjudicada por los costos. Es por eso que la segunda meta de este estudio es disminuir a ese rango los tiempos de espera de las órdenes.

5. PROPUESTAS DE MEJORAS

Luego de la validación del modelo propuesto en el software Arena y el análisis de los desperdicios realizado, se observó que los principales problemas encontrados se relacionan a los productos defectuosos y la pérdida de órdenes, debido a que corresponde a un 34% del total de órdenes procesadas; los tiempos de espera de las órdenes para ser fabricadas, ya que la producción es poco flexible y se concentra en las órdenes de mayor prioridad; por último, se tienen los tiempos de *setup*, ya que se obtiene un 85% de incumplimiento del rango propuesto por la empresa.

5.1 Factores del problema

De lo anteriormente mencionado, se obtienen los factores de desperdicios más importantes dentro de este proceso, los cuales son:

FACTOR 1: Número de piezas perdidas y de reprocesos.

FACTOR 2: Cantidad de días que esperan las órdenes a ser procesadas.

FACTOR 3: Tiempo de *setup* en el área de mecanizado.

Para las propuestas de mejoras es posible identificar meta, una de éstas es un nivel aceptable de conformidades en las órdenes, el cual es de un 95% (nivel sigma 2, de manera centrada), dicho valor se estima con la tabla de conversión de fracción defectuosa a nivel sigma (Anexo III). Este porcentaje de tolerancia se establece como objetivo en las órdenes no conformes y en las órdenes perdidas, por lo que un 5% de defectos como máximo, corresponde a 2,5 órdenes.

Otra de las metas de mejora es en el caso de los tiempos de *setup*, que se espera el cumplimiento de los límites propuestos por la empresa lo que corresponde a 20 ± 10 [minutos].

Por último, de la simulación del escenario actual se obtiene que el tiempo de fabricación puro, entiéndase como completa capacidad para realizar el cabezal de la

máquina paletizadora, es de 15 días aproximadamente. Sin embargo, como la empresa trabaja en diversos proyectos de manera simultánea no se tiene la capacidad para trabajar solamente en el cabezal estudiado, lo cual es la explicación para los días de espera que tienen las órdenes al entrar a los distintos áreas. Debido a esto es que se estima que para mejorar el proceso de fabricación de cabezales se debe lograr un tiempo de ciclo de alrededor de 2 meses, lo que representa una meta de 54% en términos de reducción del tiempo de fabricación.

5.1.1 Procedimientos para solucionar los factores del problema

Al identificar dichos factores con las respectivas metas, es posible generar métodos de tratamientos, con el fin de corregirlos y cumplirlas. A continuación se presentan los procedimientos para solucionar cada factor.

5.1.1.1 Tratamiento para corregir el factor 1: Número de piezas perdidas y reprocesos

Como se mencionó anteriormente, uno de los factores del problema es causado por los reprocesos, los cuales se deben tanto a la pérdida de piezas como a las órdenes no conformes. Es por esto que en este punto se plantean la forma de solucionar estas dos causas de forma conjunta.

Para el caso de las piezas perdidas se utilizará la herramienta 5S, la cual consta de cinco etapas, que se desarrollan a continuación.

- Eliminar o Seleccionar (*Seiri*): Seleccionar en cada área un lugar en donde se ubiquen las órdenes que necesitan ser procesadas en dicha área y las que ya fueron producidas. Además, es necesario determinar cuáles son las órdenes del proceso de fabricación de cabezales, con el fin de eliminar aquellas que no pertenezcan a éste.
- Ordenar (*Seiton*): Delimitar el lugar seleccionado en cada área y por cada proyecto, con el fin de organizar las órdenes que entrarán a dicha área, para así favorecer la

correcta ejecución del trabajo, puesto que facilitará la búsqueda de los elementos en menor tiempo.

- Limpieza e Inspección (*Seiso*): Integrar la limpieza como una tarea diaria y como una inspección necesaria. La idea implica identificar los focos de suciedad, para evitarlos y así conservar los elementos en condiciones óptimas.

Con la inspección continua se detectan los errores existentes, permitiendo su corrección oportuna.

- Estandarización (*Seiketsu*): Al estandarizar es necesario generar un método para ejecutar los procedimientos de manera que contribuya con la organización y la limpieza.

Para esto se propone ubicar letreros con el nombre correspondiente a cada área y a cada proyecto. Es así como para este caso, la señal tendría que decir “Área Corte y Dobra, Cabezales”, por ejemplo.

El método creado debe incluir un mapa de movimiento, para que todas las órdenes acabadas que salgan de un área se dirijan directamente al espacio delimitado para el almacenamiento de éstas, cuando están en espera de entrar al siguiente área.

- Mantener la disciplina (*Shitsuke*): En primera instancia, informar a los trabajadores cuales son los lugares determinados para cada área y por qué fue necesario implementar esta herramienta.

Luego se debe instruir y capacitar a los trabajadores para que entiendan el valor que tiene mantener el orden y la limpieza de las piezas y fomentar el esfuerzo de ellos en esta tarea.

De esta forma se pretende crear un hábito en los colaboradores de la fábrica para la utilización de los métodos desarrollados.

Esta etapa es la más importante dentro de la aplicación del 5S, ya que implica una autodisciplina para que la mejora implantada perdure en el tiempo. Se considera importante realizar la estandarización del proceso, ya que esta evitará problemas futuros, al considerar la forma óptima de realizar las actividades.

Finalmente, se dispondrá de un inspector de calidad que controle la existencia de todas las piezas del proyecto, puesto que si no se tiene la totalidad de las mismas no podrán salir del área.

Para el caso de las órdenes no conformes, se propone estandarizar los procesos de fabricación de todas las piezas que conforman el cabezal. De esta forma se espera reducir la no conformidad puesto que se tiene un método de trabajo estandarizado para realizar las piezas.

Además, se propone incluir a una persona capacitada con el fin de que controle la calidad del proceso mediante la fiscalización y verificación de cada orden, porque si ésta no cumple las exigencias, no podrá salir del área en proceso. Con esto se busca que cada orden cumpla los criterios de especificaciones requeridos y se reduzca la no conformidad de las órdenes.

Así se permitirá el conocimiento oportuno de órdenes que no cumplan con los estándares de calidad requeridos y se corregirá de inmediato. Esto impide percatarse de las fallas en el proceso de Montaje del cabezal, por lo que el retraso de los tiempos de entrega disminuirán al no tener reprocesos.

Para tratar la no conformidad de las piezas se propone que el inspector de calidad, que controla las piezas perdidas, analice una muestra representativa de las órdenes en cada máquina.




Es así como el inspector de calidad estudiará cada muestra de órdenes procesadas por máquina, para determinar si las piezas cumplen con los estándares de calidad requeridos.

De la integración de las prácticas propuestas anteriormente, se tiene que el proceso deberá realizarse de la siguiente forma:

- 1) El inspector de calidad debe dedicar una hora por máquina para analizar si las piezas procesadas en ella cumplen con los requerimientos.

- 2) Determinar mediante la escala de etiquetas presentada en la tabla 15 cuál es el nivel de cumplimiento de los estándares de calidad.
- 3) Asignar a cada pieza la etiqueta respectiva.
- 4) Realizar el registro correspondiente para mantener un control de la cantidad de piezas erradas.
- 5) Autorizar que las piezas correctas salgan del área.
- 6) Repetir el procedimiento para cada máquina involucrada en el proyecto analizado.
- 7) Finalmente, analizar la información obtenida para descubrir cuáles son las nuevas causas por las que se tienen órdenes no conformes, evitando que esta tasa aumente.

Tabla 15 Etiquetas para identificar la conformidad de las piezas de las órdenes.

	Visto verde	Piezas que cumplan las especificaciones.
	Exclamación amarillo	Piezas que están fuera de las especificaciones, pero que no evitan el montaje del cabezal.
	Equis rojo	Piezas que no cumplen las especificaciones y que deben ser reprocesadas.

Fuente: Elaboración Propia.

Por último, al unir las propuestas para solucionar las causas de las piezas perdidas y las órdenes no conformes, se presenta el siguiente esquema que muestra cuales son los lugares designados para dejar tanto las piezas que serán procesadas en la máquina como las que ya han sido procesadas. De esta forma, el inspector de calidad revisa estos espacios para controlar que las piezas que deben entrar o salir de la máquina sean las que correspondan y además realiza el control de calidad propuesto, de manera que se asegura que las piezas cumplen con los criterios deseados por la empresa, evitando que las órdenes erradas lleguen al proceso de Montaje, generando un retraso en la fabricación del cabezal.

En la ilustración 22 se presenta la distribución de los espacios para retener las órdenes por procesar (color celeste) y las órdenes terminadas (color naranja), en donde el inspector de calidad estará inserto.

Ilustración 22 Ubicación para aplicación de 5S.

Ubicación de espacios para aplicación de 5S



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Tratamiento para corregir el factor 2: Cantidad de días que esperan las órdenes a ser procesadas

Con el fin de mejorar los tiempos de espera que tienen las órdenes para ser procesadas, es que se aplica el modelo *Heijunka* o nivelación de la producción, la cual modificará la manera de producir los proyectos.

La empresa requiere que todos los cabezales (independiente de la cantidad de órdenes que tenga y del tipo de máquina a la que corresponde) deben demorarse 2 meses, es decir 40 días.

Se supone que las órdenes de todos los cabezales tienen un tiempo de ciclo similar a las del cabezal de las paletizadoras.

A continuación se presenta el desarrollo de esta herramienta para la fabricación de los cabezales, específicamente en la máquina centro de mecanizado, ya que es la que presenta mayor tiempo de espera.




Cabe destacar que es posible utilizar esta herramienta para todas las máquinas y todas las áreas, sólo es necesario cambiar el tiempo de ciclo promedio que tienen las órdenes en dicha máquina.

Esta fábrica trabaja durante 8,5 horas al día, por 20 días al mes y los proyectos están clasificados según la prioridad de su fecha de entrega y no por su demanda, como se mencionó anteriormente.

Además, se tiene que el promedio del tiempo de ciclo de cada orden del cabezal es 1,36 horas, valor obtenido gracias al tiempo de utilización por la máquina en el modelo actual de la herramienta Arena (Punto 4.5.2.5)




A continuación se presenta la tabla 16 que presenta 3 proyectos (ordenados de mayor a menor prioridad) con el total de órdenes cada uno; y la tabla 17 que presenta la cantidad de órdenes específicamente para la máquina centro de mecanizado.

Tabla 16 Cantidad de órdenes por proyecto.

Proyecto	Figura	Cantidad de órdenes total por proyecto	Total tiempo de ciclo (días)
1: Cabezal Encajadora		110	40
2: Cabezal Envolvedora		80	40
3: Cabezal Paletizadora		50	40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Cantidad de órdenes en Centro de Mecanizado.

Proyecto	Figura	Cantidad de órdenes en centro de mecanizado	Total de tiempo de ciclo (días)
1: Cabezal Encajadora		22	8
2: Cabezal Envolvedora		16	8
3: Cabezal Paletizadora		10	8










Fuente: Elaboración propia.

La actual práctica es comenzar a producir el proyecto con fecha de entrada más próximo, dejando para el final el proyecto 3 que es el que tiene fecha de entrega del proyecto más lejana, pues existe la creencia que son más importantes y el número de órdenes hace aumentar su significancia por ser el lote más grande. Esta situación se exhibe en la tabla 18.

De dicha tabla se desprende que las órdenes del proyecto 3 tuvieron que esperar 6 días antes de ser procesadas.

Cabe destacar que se muestra una figura por día y esto representa que la máquina estuvo trabajando todo el período en dichas órdenes.

Tabla 18 Producción en Centro de Mecanizado

Proyecto	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
								
								
								
								

Fuente: Elaboración propia.

Al tener un proceso de fabricación como la situación anteriormente planteada hace que el proyecto 3 se retrase, debido a que tiene que esperar que se procesen los dos proyectos anteriores, no sólo en la máquina de centro de mecanizado, sino que en todas las máquinas. Esto conlleva a que la empresa tenga retraso en la entrega de los productos finales a sus clientes.

Para mejorar el tiempo de retraso e implementar flexibilidad en la empresa, es posible dividir los proyectos, es decir, encontrar una óptima distribución en la fabricación de los proyectos y estandarizarla.

Es posible calcular el *Takt Time* del proceso en la máquina centro de mecanizado, lo cual se muestra en la ecuación 26.

$$Takt\ Time = \frac{68\ horas}{48\ órdenes} = 1,41\ horas$$

Ecuación 26 *Takt Time* de Centro de Mecanizado.

Esto quiere decir que se realiza 1 unidad en 1,41 horas (84,6 minutos).

El *Pitch* para cada proyecto, es decir, las horas totales utilizadas en éstos y las necesidades diarias de producción se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19 *Pitch* y Demanda diaria en Centro de Mecanizado.

Proyecto	<i>Pitch</i>	Demanda diaria
1	$1,41 \times 22 = 31,02 \text{ horas}$	$2,75 \approx 3$
2	$1,41 \times 16 = 22,56 \text{ horas}$	2
3	$1,41 \times 10 = 14,1 \text{ horas}$	$1,25 \approx 1$

Fuente: Elaboración propia.

Las demandas diarias se han aproximado, sin embargo si otro analista quiere aproximarlas de manera distinta, puede hacerlo y ocupar su propio criterio.

Con el fin de nivelar la producción se realizarán divisiones de 3 horas en el centro de mecanizado, para cambiar las órdenes procesadas y así obtener la óptima producción.

La tabla 20 que se muestra a continuación, presenta la producción de la máquina centro de mecanizado nivelada para 8 días.

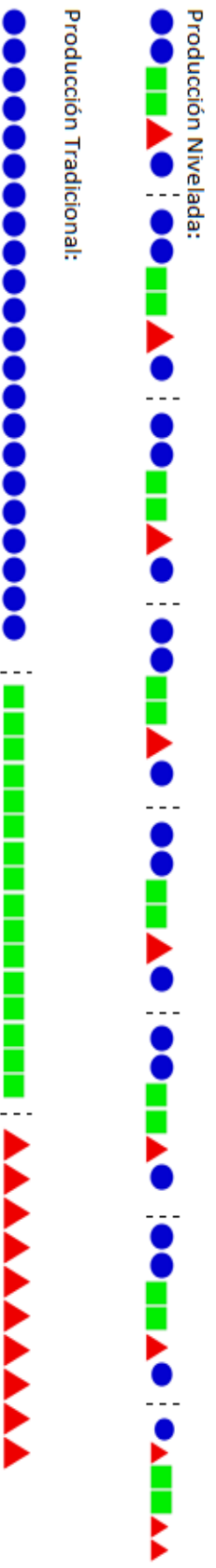
Tabla 20 Producción Nivelada en Centro de Mecanizado.

PRODUCCIÓN EN CENTRO DE MECANIZADO							
DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲ ▲

Fuente: Elaboración propia.

A modo de comparación se tiene la siguiente ilustración, que presenta la producción nivelada y la producción tradicional.

Ilustración 23 Comparación entre tipo de producciones.



Fuente: Elaboración propia.

Con la mejora anteriormente planteada, las órdenes no tienen que esperar elevados tiempos para poder ser procesadas, lo que provoca que si en algún minuto se necesitaran de forma urgente la producción ya está avanzada.

Con el modelo *Heijunka* se reparte y equilibra la producción en cada máquina, en vez de someterlos a las variaciones de la demanda y también incorpora mayor flexibilidad en los procesos, dotando a éstos de una alta capacidad de reacción (adaptación a las variaciones repentinas).

5.1.1.3 Tratamiento para corregir el factor 3: Tiempo de *setup* en el área de Mecanizado

Como se mencionó en el análisis de la situación actual, los programas de las distintas órdenes no son realizadas por los programadores, quienes son los encargados de esta actividad, sino que son realizados por los operadores al momento de que la orden llega al área, generando elevados tiempos de *setup*.

A continuación se presenta el método de trabajo actual para el operador en el área de Mecanizado.

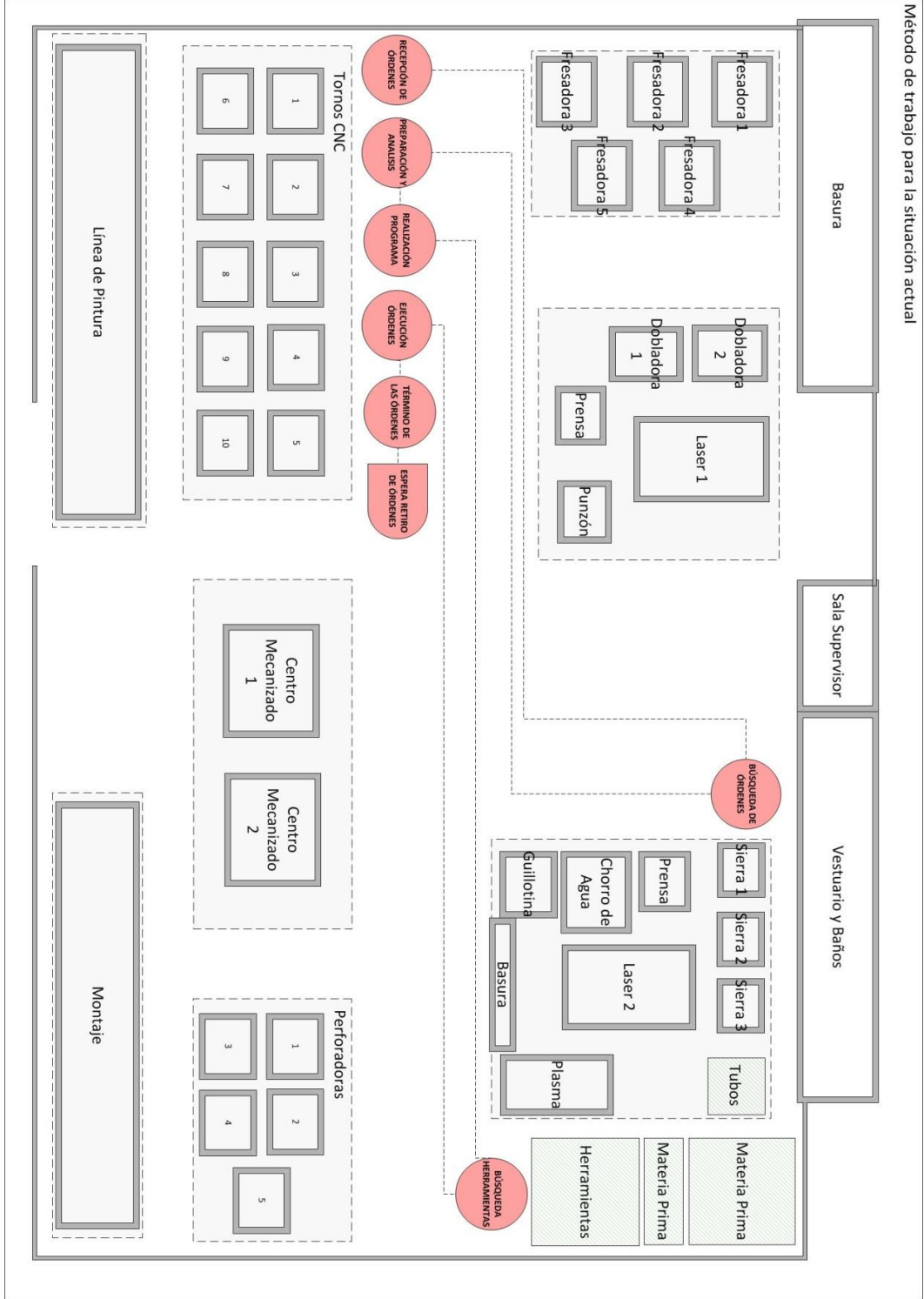
- 1) Recepciona las órdenes que procesarán en el Torno CNC.
- 2) Revisa si las órdenes son las que corresponden. En caso de que no se encuentren todas, busca aquellas órdenes que falten.
- 3) Identifica y prepara la primera orden a fabricar.
- 4) Analiza cuáles son los programas necesarios para la primera orden de fabricación.
- 5) Realiza el programa requerido para transformar la orden en el torno CNC.
- 6) Busca las herramientas necesarias para la actividad que desarrollará.
- 7) Ejecuta el programa en el torno CNC y los procesos requeridos para obtener las piezas que se especifican en la orden.
- 8) Termina las piezas correspondientes a la orden.
- 9) Repite el procedimiento para la segunda orden, desde el punto tres al ocho. Realiza estos puntos de manera consecutiva hasta terminar las órdenes que entran a esta área.

10) Finalmente, espera del retiro de las órdenes terminadas.

En la ilustración 24 se muestra el método de trabajo actual de los operadores en el área de Mecanizado.

Ilustración 24 Método de trabajo Mecanizado situación actual

Método de trabajo para la situación actual



Fuente: Elaboración Propia

Para solucionar la situación anteriormente explicada, se plantea utilizar la herramienta *SMED*, la cual tiene como fin disminuir los tiempos de preparación de una máquina mediante el conocimiento de la operación. A continuación se presenta el desarrollo de dicha herramienta, con el fin de que se aplique dentro de este proceso.

- Fase 1: Diferenciación de la preparación externa y la interna.

Por preparación interna, se entienden todas aquellas actividades que para poder ser efectuadas requieren que la máquina se detenga. En cambio, la preparación externa se refiere a las actividades que pueden llevarse a cabo mientras la máquina funciona.

El objetivo de esta etapa es identificar las actividades y que los operadores sepan qué pueden hacer mientras la máquina esté en marcha, con el fin de disminuir el tiempo muerto de la máquina.

Las principales actividades externas que debe realizar el operador en este caso, son:

- Preparar previamente todos los elementos necesarios: plantillas, materiales, herramientas, entre otras.
 - Realizar mediciones y reajustes.
 - Mantener los elementos en buenas condiciones de funcionamiento.
 - Mantener el orden y la limpieza en la zona de los elementos.
- Fase 2: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de las operaciones.

Las preparaciones internas deben ser objeto de mejora y control continuo. Es por esto, y el análisis realizado en esta área, que se proyecta la siguiente mejora.

Para reducir los tiempos de *setup* internos en Mecanizado se plantea que el programador debe realizar todos los programas correspondientes a cada orden y almacenarlos en un lugar específico. De esta forma se pretende que al tener la llegada de una orden sólo se ejecuten los programas ya existentes y estandarizados para cada pieza en los tornos CNC.

- Fase 3: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo.

Esta fase se enfoca en la mejora del equipo utilizado, es decir, el lugar de trabajo debe estar diseñado de tal forma que las máquinas permitan un menor tiempo de preparación. También es necesario incorporar dispositivos que permitan fijar la altura y la posición de los elementos. Y por último, es necesaria la mantención constante de las maquinarias.

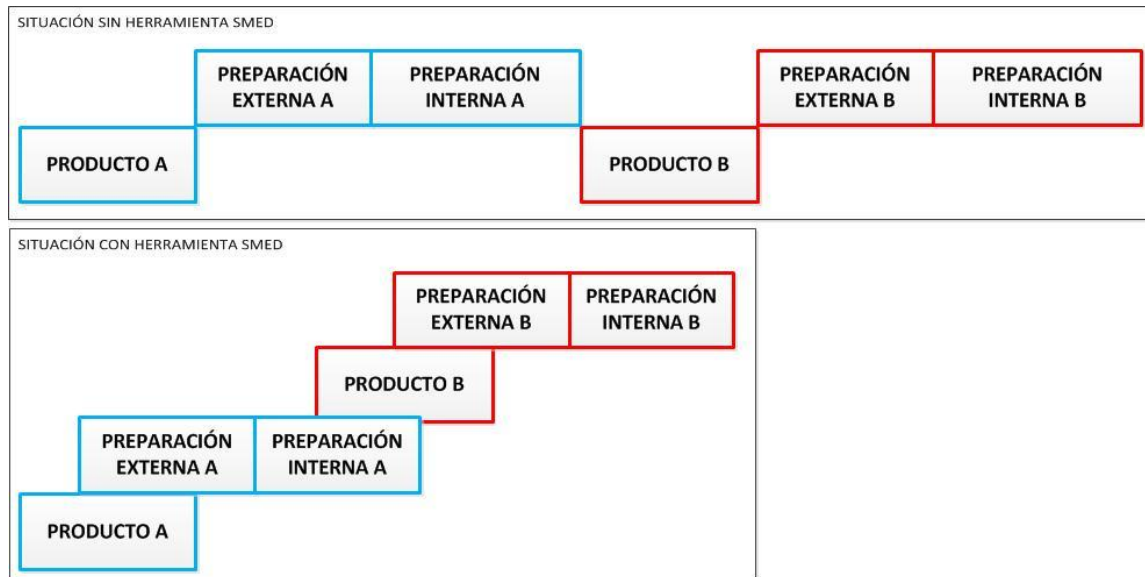
- Fase 4: Preparación cero.

El tiempo ideal de preparación es cero, por lo que el objetivo final debe ser plantear la utilización de tecnologías y programas adecuados.

Por consiguiente el retraso en la preparación de los Tornos CNC en el área de Mecanizado se verán disminuidos por la aplicación de la herramienta SMED. Con esto se espera que los tiempos de *setup* cumplan los tiempos especificados por la empresa, los cuales varían entre 10 y 30 minutos.

Para aclarar cómo funciona la herramienta *SMED*, se presenta la ilustración 25, con la que se espera clarificar el funcionamiento de la preparación interna y la externa.

Ilustración 25 Situación sin *SMED* vs Situación con *SMED*



Fuente: Elaboración propia a partir de Producción (Guillermo Wyngaard)

Finalmente, se integra el desarrollo de la herramienta antes mencionada para generar una propuesta de mejora para el método de trabajo que realiza el operador en el área de Mecanizado, lo que se muestra a continuación.

- 1) Recepciona las órdenes a ser procesadas en el área.
- 2) Identifica y prepara la primera orden a fabricar.
- 3) Busca los programas, herramientas y materiales que serán utilizadas para transformar la primera orden.
- 4) Ingresa el programa correspondiente en el torno CNC y realiza las piezas de la orden.
- 5) Identifica y prepara la segunda orden a fabricar, mientras el torno CNC ejecuta las piezas de la primera orden.
- 6) Busca los programas y herramientas que serán utilizadas para la fabricación de la orden siguiente.
- 7) Finaliza las piezas que componen la primera orden, por lo que inmediatamente comienza la fabricación de la orden siguiente.
- 8) Realiza el procedimiento para las órdenes siguientes, desde el punto dos hasta el siete.
- 9) Por último, ubica las piezas terminadas en el espacio determinado para la posterior inspección.

En la ilustración 26 se presenta el método de trabajo para la propuesta de mejora para la reducción de los tiempos de *setup*.

Ilustración 26 Método de trabajo para la propuesta de mejora.

Método de trabajo para la propuesta de mejora



Fuente: Elaboración Propia

5.2 Escenarios para experimentación

Con el fin de poder experimentar y generar una propuesta de mejora dentro del proceso en estudio, es que se identifican diferentes escenarios, variando en su utilización los factores de desperdicio mencionados anteriormente.

Cabe destacar que todos los escenarios se realizan con el fin de disminuir el tiempo total de ciclo de fabricación del cabezal, es decir, producir el cabezal en menos tiempo que el real, por lo que la mejor alternativa será la que tenga menor tiempo de ciclo.

A continuación se presentan los escenarios generados en base a los factores de desperdicio.

Escenario 1: En este escenario se modifica el factor 1.

Escenario 2: En este contexto se experimenta con el factor 2.

Escenario 3: En este escenario se varía el factor 3.

Escenario 4: Se combina el factor 1 con el 2.

Escenario 5: En este contexto se dispone del factor 2 y 3.

Escenario 6: En este escenario se agrupa el factor 1 con el 3.

Escenario 7: En este caso se une el factor 1, el 2 y el 3.

5.2.1 Simulación de los escenarios

Luego de conocer los distintos escenarios para las posibles mejoras del sistema, es necesario realizar la respectiva simulación en el software Arena, con el objeto de comparar las variables significativas y determinar cuál de los escenarios es la mejor alternativa.

5.2.1.1 Simulación escenario 1

Como se mencionó anteriormente, en este escenario se eliminan los reprocesos o pérdida de órdenes del sistema, por lo tanto, en la decisión del modelo ¿están todas las órdenes?, la respuesta verdadera tiene un 100% de probabilidad de ocurrencia.

5.2.1.2 Simulación escenario 2

Como se mencionó en el punto anterior, el escenario 2 corresponde a la disminución de los tiempos de espera de las órdenes a ser procesadas. Para esto se estimó un rango máximo de 10 días de espera por orden, lo que llevó a una distribución NORM (306000, 0.05).

Para realizar este cambio en el modelo computacional, se modificó la distribución de probabilidad de todos los módulos *delay*, “demora antes de máquina X”, por la mencionada anteriormente.

5.2.1.3 Simulación escenario 3

En este escenario se espera cumplir con los límites de *setup* propuestos por la empresa en el área de mecanizado. Para esto se separa el proceso “mecanizado” en el modelo computacional por los siguientes módulos:

- *Seize*: se agrega el recurso máquina y el recurso operador de esta área, con el fin de que tomen las órdenes que entran a la misma.
- *Delay*: corresponde a los tiempos de *setup* del área de mecanizado. Cabe destacar que, como se requiere cumplir con los tiempos de *setup* dentro del rango de 10 a 30 minutos, se le agrega una distribución diferente, la cual es: UNIF (600,1800) segundos.
- *Delay2*: representa el proceso de agregación de valor del área de mecanizado, es decir, los tiempos medidos sin los tiempos de *setup*. Para esto se calculó una nueva distribución, la cual es: 800 + WEIB (2,16e + 003, 0,493)

- *Release*: con el recurso máquina y el recurso operador suelta las órdenes a la siguiente área.

5.2.1.4 Simulación escenario 4

En este contexto se une el factor 1 con el factor 2 y se realizaron las modificaciones mencionadas anteriormente en los respectivos escenarios.

5.2.1.5 Simulación escenario 5

En este contexto se agrupan el factor 2 con el factor 3 y se ejecutaron los cambios mencionados anteriormente en los respectivos escenarios.

5.2.1.6 Simulación escenario 6

En este contexto se reúnen el factor 1 con el factor 3 y se efectuaron las modificaciones mencionadas anteriormente en los respectivos escenarios.

5.2.1.7 Simulación escenario 7

En este contexto se agrupan los factores 1, 2 y 3 y se realizan las 3 modificaciones mencionadas en los respectivos escenarios.

5.2.2 Comparación de los resultados de las simulaciones

Luego de simular cada uno de los escenarios y obtener los informes de comportamiento, es posible compararlos desde diferentes aspectos representativos dentro del proceso, con el fin de observar cuál es el mejor escenario. Esto se presenta a continuación.

En la tabla 21 se utiliza el promedio de todas las réplicas para conocer el número de órdenes que son procesadas en cada máquina. De esto se desprende que la diferencia que tienen los escenarios es el número de reprocesos que se fabricaron, ya que es el factor que

genera cambios en este aspecto. Las demás máquinas obtuvieron los mismos valores, ya que no hubo variaciones en éstas.

Por lo tanto, los escenarios 1, 2, 6 y 7 no presentan órdenes que pasen por reprocesos y los demás escenarios presentan 17 órdenes reprocesadas.

Tabla 21 Órdenes procesadas por máquina.

Escenario	Órdenes procesadas en cada máquina
1	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 0 por reproceso.
2	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 17 por reproceso.
3	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 17 por reproceso.
4	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora.

	<ul style="list-style-type: none"> • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 0 por reproceso.
5	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 17 por reproceso.
6	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 0 por reproceso.
7	<ul style="list-style-type: none"> • 6 pasan por el centro de mecanizado. • 11 por el corte con chorro de agua. • 2 por la dobladora. • 6 por la fresadora. • 17 por el corte con láser. • 17 por la perforadora. • 1 por la plasma. • 18 por corte con sierra. • 20 por el torno CNC (área de Mecanizado). • 0 por reproceso.

Fuente: Elaboración propia

Además, se presenta la tabla 22, que muestra las colas generadas en las distintas máquinas. Cabe destacar que para esta tabla se consideraron los valores máximos de colas y que el valor está en número de órdenes en cada máquina.

De esta tabla se desprende que el escenario 4 es el que presenta mayor cola, ya que se tuvieron 122 órdenes en fila para el total de las máquinas. Por el contrario, el escenario 2 es el que presenta la menor cantidad de colas, ya que se tienen 61 órdenes en fina para el total de las máquinas.

Tabla 22 Colas generadas en cada escenario.

Escenario	Colas generadas
1	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 18 órdenes. • Corte con láser: 25 órdenes. • Corte con sierra: 29 órdenes. • Mecanizado: 3 órdenes. • Plasma: 5 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 1 orden. • Perforadora: 2 órdenes. • Centro de mecanizado: 4 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 0 órdenes. • Pintura: 3 órdenes.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 18 órdenes. • Corte con láser: 6 órdenes. • Corte con sierra: 3 órdenes. • Mecanizado: 6 órdenes. • Plasma: 1 orden. • Doblado: 1 orden. • Fresadora: 3 orden. • Perforadora: 1 órdenes. • Centro de mecanizado: 4 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 17 órdenes. • Pintura: 1 órdenes.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 18 órdenes. • Corte con láser: 25 órdenes. • Corte con sierra: 29 órdenes. • Mecanizado: 3 órdenes. • Plasma: 5 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 1 orden. • Perforadora: 2 órdenes. • Centro de mecanizado: 3 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 7 órdenes. • Pintura: 2 órdenes.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 20 órdenes. • Corte con láser: 26 órdenes. • Corte con sierra: 28 órdenes.

	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanizado: 22 órdenes. • Plasma: 4 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 3 orden. • Perforadora: 8 órdenes. • Centro de mecanizado: 6 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 0 órdenes. • Pintura: 3 órdenes.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 20 órdenes. • Corte con láser: 26 órdenes. • Corte con sierra: 28 órdenes. • Mecanizado: 21 órdenes. • Plasma: 4 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 3 orden. • Perforadora: 6 órdenes. • Centro de mecanizado: 5 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 17 órdenes. • Pintura: 3 órdenes.
6	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 18 órdenes. • Corte con láser: 25 órdenes. • Corte con sierra: 29 órdenes. • Mecanizado: 3 órdenes. • Plasma: 5 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 1 orden. • Perforadora: 2 órdenes. • Centro de mecanizado: 3 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 0 órdenes. • Pintura: 3 órdenes.
7	<ul style="list-style-type: none"> • Corte con chorro de agua: 20 órdenes. • Corte con láser: 26 órdenes. • Corte con sierra: 28 órdenes. • Mecanizado: 21 órdenes. • Plasma: 4 órdenes. • Doblado: 2 órdenes. • Fresadora: 3 orden. • Perforadora: 6 órdenes. • Centro de mecanizado: 5 órdenes. • Búsqueda o reprocesos: 0 órdenes. • Pintura: 4 órdenes.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se pueden observar los tiempos promedios que tuvieron que esperar las órdenes para ser tratadas en las máquinas las diferentes máquinas en la tabla 23.

De esta tabla se desprende que en el escenario 2, 4, 5 y 7 los tiempos promedios son 10 días, debido a que fue un límite máximo propuesto por la empresa. En los otros escenarios (1, 3 y 6) se observa que los valores superan el rango propuesto por la empresa.

Cabe destacar que estos tiempos se esperan simultáneamente, ya que las máquinas funcionan todas a la vez.

Tabla 23 Tiempos de espera de las órdenes.

Escenario	Tiempos de espera promedio de las órdenes por cada máquina
1	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 19,9 días. • Perforadora: 12,4 días. • Fresadora: 14,85 días. • Torno CNC: 7,69 días.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 10 días. • Perforadora: 10 días. • Fresadora: 10 días. • Torno CNC: 10 días.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 19,9 días. • Perforadora: 12,4 días. • Fresadora: 15,34 días. • Torno CNC: 7,69 días.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 10 días. • Perforadora: 10 días. • Fresadora: 10 días. • Torno CNC: 10 días.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 10 días. • Perforadora: 10 días. • Fresadora: 10 días. • Torno CNC: 10 días.
6	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 19,9 días. • Perforadora: 12,4 días. • Fresadora: 15,34 días. • Torno CNC: 7,69 días.
7	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de mecanizado: 10 días. • Perforadora: 10 días. • Fresadora: 10 días. • Torno CNC: 10 días.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24 se presentan los tiempos totales del proceso productivo en cada escenario. Con esto se puede identificar que el escenario 7 se demora menos que los demás escenarios en la producción de los cabezales, ya que tiene un tiempo de ciclo de 1,38 meses.

Tabla 24 Tiempo total de ciclo.

Escenario	Tiempos total de ciclo
1	4,462 meses.
2	1,51 meses.
3	4,5 meses.
4	1,403 meses.
5	1,5 meses.
6	4,5 meses.
7	1,38 meses.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la tabla 25, se presenta una matriz que contiene los siete escenarios, con los tres factores de desperdicio. En esta tabla, el factor 1 está medido en número de órdenes, el factor 2 se muestra como el promedio de los días que tuvieron que esperar las órdenes para ser procesadas y el factor 3 representa el promedio, en minutos, de los tiempos de *setup* del área de mecanizado.

Tabla 25 Matriz Escenarios vs Factores.

Escenario	Factor 1: Reprocesos (órdenes)			Factor 2: Tiempos de espera (días)			Factor 3: Tiempos <i>setup</i> (minutos)		
	Prom.	Min.	Máy.	Prom.	Min.	Máy.	Prom.	Min.	Máy.
1	0	0	0	13,83	7	35	57,6	12,60	93,60
2	17	7	26	10	10	10	57,6	12,60	93,60
3	17	7	26	13,83	8	35	20	10	30
4	0	0	0	10	10	10	57,6	12,60	93,60
5	17	6	26	10	10	10	20	10	30
6	0	0	0	13,83	6	35	20	10	30
7	0	0	0	10	10	10	20	10	30

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Propuesta de mejora

De acuerdo a la simulación de todos los escenarios establecidos, se considera que la mejor opción es el escenario 7, el cual implica la mejora de los tres factores causales del problema identificado en este estudio.

Este escenario es la mejor opción debido a que no presenta reprocesos ni piezas perdidas, el valor promedio de los tiempos de *setup* es de 20 minutos, el tiempo de espera promedio de las órdenes para ser procesadas es máximo 10 días y el tiempo de ciclo total es el menor de todos los escenarios, siendo éste 1,38 meses (27,6 días).

En el Anexo X se presenta el informe arrojado por Arena para la propuesta de mejora.

6. MECANISMOS DE CONTROL

Con el fin de inspeccionar posteriormente los procesos con la mejora propuesta para este proyecto, se evalúan los índices de control, lo que se detalla a continuación.

6.1 Control de la propuesta de mejora

Para controlar las soluciones propuestas se desarrollan los KPI's planteados en el punto 4.4.1 y el nivel sigma. Con esto se pretende mantener en el tiempo los indicadores esperados, de manera de asegurar la calidad del producto y del servicio ofrecido.

A continuación se presentan las tablas 26 y 27, que muestran los KPI'S y los niveles sigma de la propuesta de mejora.

Tabla 26 KPI'S para la Propuesta de Mejora.

Nombre KPI	Cálculo	Meta	Cumple
Órdenes no conformes	$\frac{2,5}{50} \cdot 100 = 5\%$	$\leq 5\%$	Si
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Corte y Dobra	0,19 horas	0,5 horas	Si
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Mecanizado	0,5 horas	0,5 horas	Si
Cumplimiento tiempo de <i>setup</i> Fresado y Perforado	0,28 horas	0,5 horas	Si
Órdenes Perdidas	$\frac{2,5}{50} \cdot 100 = 5\%$	$\leq 5\%$	Si
Cumplimiento tiempo de entrega	1,4 meses	≤ 2 meses	Si
Cumplimiento tiempo espera Mecanizado	10 días	10 días	Si
Cumplimiento tiempo espera Fresado y Perforado	10 días	10 días	Si

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Niveles Sigma para la Propuesta de Mejora.

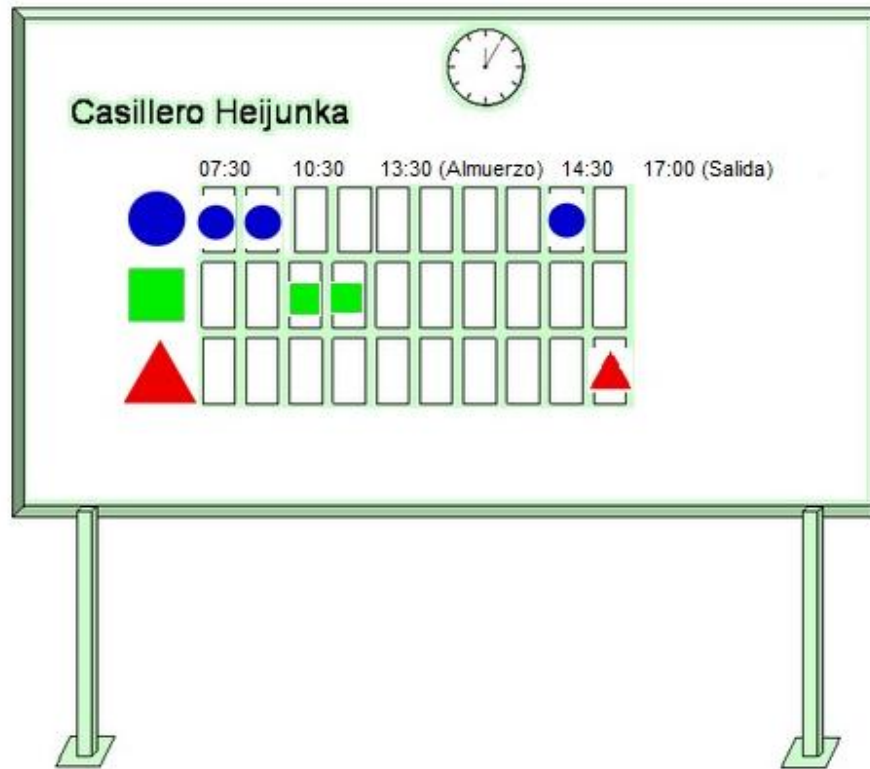
	Cálculo	Nivel Sigma	FTY
Órdenes no conformes	$DPU = \frac{2,5 \text{ defectos}}{50 \text{ órdenes}} = 0,05 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{unidad} \end{array} \right]$ Ecuación 27 DPU órdenes erradas. $DPO = \frac{0,05}{5 \text{ oportunidades}} = 0,01 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{oportunidad} \end{array} \right]$ Ecuación 28 DPO órdenes erradas. $DPMO = 0,01 \cdot 10^6 = 10.000 \left[\begin{array}{l} \text{Defectos por millón} \\ \text{de oportunidades} \end{array} \right]$ Ecuación 29 DPMO órdenes erradas.	3,9σ	99,2%.
Tiempo de Setup	$DPU = \frac{1 \text{ defectos}}{20 \text{ órdenes}} = 0,05 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{unidad} \end{array} \right]$ Ecuación 30 DPU tiempos de <i>setup</i> . $DPO = \frac{0,05}{1 \text{ oportunidad}} = 0,05 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{oportunidad} \end{array} \right]$ Ecuación 31 DPO tiempos de <i>setup</i> . $DPMO = 0,05 \cdot 10^6 = 50.000 \left[\begin{array}{l} \text{Defectos por millón} \\ \text{de oportunidades} \end{array} \right]$ Ecuación 32 DPMO tiempos de <i>setup</i> .	3,2σ	99,5%
Órdenes Perdidas	$DPU = \frac{2,5 \text{ defectos}}{50 \text{ órdenes}} = 0,05 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{unidad} \end{array} \right]$ Ecuación 33 DPU órdenes perdidas. $DPO = \frac{0,05}{1 \text{ oportunidad}} = 0,05 \left[\begin{array}{l} \text{defectos por} \\ \text{oportunidad} \end{array} \right]$ Ecuación 34 DPO órdenes perdidas. $DPMO = 0,05 \cdot 10^6 = 50.000 \left[\begin{array}{l} \text{Defectos por millón} \\ \text{de oportunidades} \end{array} \right]$ Ecuación 35 DPMO órdenes perdidas.	3,2σ	99,5%

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, con el fin de controlar la nivelación de la producción se debe incorporar el casillero de *Heijunka* en el área.

En la primera columna deben ir los proyectos en los que se debe trabajar y en las siguientes debe ir el horario de división con las figuras respectivas a las órdenes del proyecto que se deben procesar. Esto se muestra a continuación en la ilustración 27.

Ilustración 27 Casillero de Heijunka.



Fuente: Elaboración propia.

Se espera que el coordinador de cada área controle y fiscalice que los operadores estén procesando las órdenes correspondientes y poner un ticket cuando se terminen, con el fin de representar gráficamente el control.

7. ANÁLISIS DE COSTOS

Para evaluar económicamente la propuesta de mejora en comparación a la situación actual, se realizará un análisis de los costos, puesto que la empresa Máquinas Sanmartín no accedió a entregar información sobre los ingresos recaudados, debido a la confidencialidad de la información.

Sin embargo, la empresa otorgó una planilla de los costos por área correspondientes a los meses de Marzo, Abril y Mayo del año 2014, con los que se calcula el costo promedio para cada área, con el fin de obtener un resultado más representativo. Para mayor comodidad, los costos están expresados en millones de pesos (M).

A continuación se presenta la tabla 28 con el costo promedio por área.

Tabla 28 Costos promedio por área en pesos.

Costo por hora por área					
Mes	Corte y Dobra	Mecanizado	Perforado y Fresado	Pintura	Montaje
Marzo	\$22.400	\$15.300	\$8.900	\$20.700	\$7.800
Abril	\$17.900	\$12.300	\$9.010	\$20.700	\$7.600
Mayo	\$15.900	\$14.400	\$8.900	\$22.100	\$9.500
Promedio	\$18.733,33	\$14.000	\$8.936	\$21.166,67	\$8.300

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Máquinas Sanmartín.

7.1 Análisis de costos de la situación actual

De los informes obtenidos luego de la simulación en Arena de la situación actual del proceso, se consigue la cantidad de horas en que las órdenes fueron procesadas en las correspondientes máquinas pertenecientes a las distintas áreas, esto se muestra a continuación en la tabla 29.

Tabla 29 Horas Utilizadas en la Situación Actual.

Área	Horas Utilizadas
Corte y Dobra	62,45
Mecanizado	41,55
Perforado y Fresado	24,47
Reprocesos	156,81
Pintura	8,72
Montaje	21,44

Fuente: Elaboración propia.

Además, se calcula el tiempo de espera para cada orden en las distintas máquinas, valor en hora. Esto se realiza con el objeto de obtener el costo equivalente a las demoras de las órdenes en los procesos.

Tabla 30 Tiempos de espera situación actual

Máquinas	Tiempo de espera (Horas)
Centro de Mecanizado	158,95
Torno CNC	65,45
Fresadora	123,165
Perforadora	105,4

Fuente: Elaboración propia.

Con las horas obtenidas anteriormente, se realiza el cálculo del costo del escenario actual por área, para finalmente obtener el costo total del proceso.

A continuación se presenta la tabla 31 que muestra los costos de la situación actual en cada proceso. El costo total se exhibe en millones de pesos (M).

Tabla 31 Costos para la situación actual de la empresa.

Descripción	Corte y Dobra	Mecanizado	Perforado y Fresado	Pintura	Montaje	Reprocesos
Costo por hora	\$18.733,33	\$14.000	\$8.936	\$21.166,67	\$7.800	\$21.166,67
Horas utilizadas	62,4	107	411,99	8,72	21,44	156,81
Costo total	1,17 M	1,5 M	3,68 M	0,185 M	0,17 M	3,32 M

Fuente: Elaboración Propia.

De esta forma se obtiene que el costo total en que la empresa incurre en la fabricación del cabezal actualmente, utilizando los valores de costo promedio, es de \$10.025.000.

7.2 Análisis de costos de la propuesta de mejora

De los informes obtenidos luego de la simulación de la propuesta de mejora, se tiene que los días en que las órdenes fueron procesadas en las máquinas correspondientes a cada área, son los siguientes.

Tabla 32 Horas Utilizadas en la Propuesta de Mejora.

Área	Horas Utilizadas
Corte y Dobra	61,0
Mecanizado	35,105
Perforado y Fresado	23,56
Reprocesos	0
Pintura	8,56
Montaje	21,08

Fuente: Elaboración Propia.

El rango máximo que deben esperar las órdenes para ser procesadas es de 10 días, lo que es equivalente a 85 horas por cada máquina.

Además, es posible calcular los costos de las propuestas de mejoras, con datos que entrega la empresa, en cuanto a sueldos de trabajadores y costos de materiales.

Cabe destacar que la empresa tiene retazos de distintos materiales (tubos, rejillas, etc.) que no están siendo ocupados, por lo que no se vería afectada por algunos costos, sin embargo, igual se contemplaron. Asimismo, no se considera la mano de obra, debido a que la empresa tiene un área que se dedica a proyectos de mejora dentro de la misma.

A continuación se presenta la tabla 33, con los costos asociados a la propuesta de mejora.

Tabla 33 Costos propuesta de mejora.

Propuesta	Cantidad	Costos total (\$)
Tratamiento para corregir el número de piezas perdidas y reprocesos.		
Rejillas (1800 x 1200)	18	219.015
Tubo Cuadrado acero 1020 (110 x 1800)	18	57.353
Inspector de calidad	1	225.000
Etiquetas	150	16.500
Tratamiento para corregir la cantidad de días que esperan las órdenes.		
Tubo Cuadrado acero 1020 (110 x 1800)	2	6.373
Plancha de melanina (1000 x 1800)	1	20.490
Materiales extras		19.990
Tratamiento para corregir el tiempo de <i>setup</i> en mecanizado		0
TOTAL		564.721

Fuente: Elaboración Propia.

El costo total asociado a las mejoras de los tres factores de desperdicio es de \$564.721.

Se presenta la tabla 34 que contiene los costos utilizados en la propuesta de mejora para cada área. El costo total esta en millones de pesos (M).

Tabla 34 Costos para la propuesta de mejora.

Descripción	Corte y Dobra	Mecanizado	Perforado y Fresado	Pintura	Montaje	Reprocesos
Costo por hora	\$18.733,33	\$14.000	\$8.936	\$21.166,67	\$7.800	\$21.166,67
Horas utilizadas	61,0	120,105	278,56	8,56	21,08	0
Costo total	1,14 M	1,68 M	2,49 M	0,181 M	0,16 M	0 M

Fuente: Elaboración Propia.

Es así como se calcula que el costo total que representa para la empresa la mejora propuesta. Esto contempla las horas utilizadas en cada área, más el costo total de implementar la propuesta de mejora, lo que da un valor de \$6.215.721.

Por lo tanto, la disminución de los costos con la propuesta de mejora representa un 38%.

7.3 PayBack de la propuesta de mejora en el proyecto

PayBack hace referencia al tiempo en que se demora el proyecto en recuperar las inversiones que conlleva, en este caso en particular, la propuesta de mejora. Para estimar este valor se realizó la tabla 35 que presenta la inversión total, los costos de la situación mejorada y los costos de la situación actual.

Estos valores se calculan de acuerdo al costo total del proyecto, para cada situación, y a la duración de las mismas, con el fin de obtener los costos mensuales de los dos escenarios y poder de esa forma compararlos.

A continuación se presenta la tabla 35 con lo mencionado anteriormente.

Tabla 35 *PayBack*

MES	0	1	2	3	4	5
TOTAL INVERSIONES:	-564.721					
Rejillas (1800 x 1200)	-219.015					
Tubo Cuadrado acero 1020 (110 x 1800)	-57.353					
Inspector de calidad	-225.000					
Etiquetas	-16.500					
Tubo Cuadrado acero 1020 (110 x 1800)	-6.373					
Plancha de melanina (1000 x 1800)	-20.490					
Materiales extras	-19.990					
COSTOS SITUACION ACTUAL		2.252.809	2.252.809	2.252.809	2.252.809	1.013.764
COSTOS SITUACION MEJORADA		-4.185.926	-1.465.074	0	0	0
SALDO		-1.933.117	787.735	2.252.809	2.252.809	1.013.764

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla 35 se desprende que en el primer mes, los costos de la situación mejorada son más altos y el saldo se refleja como negativo en comparación con los costos de la

situación actual. Sin embargo, en los meses 3, 4 y 5 no se generan costos en el escenario mejorado, lo que se traduce en saldos positivos para la empresa.

Por último, se calcula el *PayBack* del proyecto, el cual es de 3 meses, es decir, al tercer mes de proyecto se recupera la inversión realizada de la mejora, ya que se obtiene un saldo a favor de \$1.107.427 y la inversión es de \$564.721.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del trabajo de memoria realizado para el proceso de fabricación del cabezal de la máquina paletizadora, en la empresa Máquinas Sanmartín, se tienen las siguientes conclusiones.

Como se explicó en un comienzo, alcanzar una ventaja competitiva para una empresa es de vital importancia. A base de esto nace este proyecto, puesto que se propone implantar una mejora continua en la línea de producción estudiada. De esta forma, la mejora propuesta en este trabajo contribuye a que la empresa mejore su imagen frente al cliente, ya que entregará un producto de calidad en el plazo acordado.

Bajo el modelo *Lean Six Sigma*, se logró identificar el comportamiento del proceso y los desperdicios que este presenta. De ello se obtuvieron los factores causales del problema, los cuales son: tiempos de *setup* superiores a los especificados por la empresa en el área de Mecanizado, elevados tiempos de espera para el ingreso de las órdenes a las diversas áreas y pérdidas de piezas o no conformidad en las mismas debido al desorden general existente en la fábrica.

Con el desarrollo de la metodología de Simulación realizada en Arena, se logró comprobar el tiempo que se demoran actualmente en realizar el proceso de fabricación del cabezal de la máquina paletizadora, lo que es validado con el tiempo real medido en la fábrica. Además, fue posible experimentar en distintos contextos, obteniendo así la propuesta de solución más atractiva para la problemática de este estudio.

Finalmente, se cumplió con el objetivo general definido, en donde bajo la propuesta de mejora simulada en Arena, se logró reducir el tiempo de entrega del cabezal de la máquina paletizadora de un tiempo inicial de 4,3 meses a 1,4 meses aproximadamente, lo que representa una disminución del 67,9%. Además, se disminuyó la tasa de defectos en un 20%, antes de que las órdenes entren al proceso de Montaje. Ligado a lo anterior, se redujeron los costos de fabricación del cabezal en un 38%, ya que en el escenario actual la empresa tiene un costo de \$10.025.000 y con la simulación de la mejora propuesta se obtiene un costo de \$6.215.721.

Se recomienda a la empresa implantar la mejora continua como parte de la cultura de la misma, puesto que esto ayudará a identificar desperdicios y malas prácticas en los métodos de trabajo, lo que conlleva la búsqueda de soluciones para mejorar el proceso de fabricación realizado por la empresa.

Además, se invita a la empresa a que considere implementar la propuesta de mejora generada en este trabajo, puesto que según los cálculos realizados se disminuyen los tiempos de entrega y los costos.

Por último, se recomienda que la empresa realice los siguientes pasos:

- Primera etapa: Implementación de las propuestas de mejoras generadas en este trabajo para los casos especificados. De esta forma, se aplica en pequeños puntos los cambios, con el fin de evaluar el impacto real que se genera en la producción de los cabezales de la máquina paletizadora.
- Segunda etapa: Aplicar las propuestas de mejora a todas las máquinas y áreas involucradas en la fabricación del cabezal. Luego se evalúan los resultados obtenidos en la realidad y se compara con la situación actual.
- Tercera etapa: Si de las etapas anteriores se obtuvieron resultados positivos, es decir, se logra realmente disminuir los tiempos de espera, los reprocesos y los tiempos de *setup*, aplicar las mejoras a los demás proyectos en los que trabaja la empresa.
- Cuarta etapa: Incluir la mejora continua a la empresa, lo que quiere decir, que se mantenga en constante análisis de los procesos, identificación de problemas, estudio de las causas raíces de los mismos y propuestas de mejoras. Esto ayudará a que la empresa entregue un producto de mayor calidad, generando un aumento en la satisfacción de sus clientes.

Bibliografía

(s.f.). Recuperado el Noviembre de 2014, de Capítulo 3: Simulación. Análisis de los sistemas de control de la producción Kanban y Conwip bajo escenarios de reprocesado :
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30143/fichero/CAPITULO3.pdf>

Definimos trabajo como... (1 de Octubre de 2008). Recuperado el Agosto de 2014, de Tecnología y Sinergix: <http://synergix.wordpress.com/2008/10/01/definimos-retrabajo-como/>

Cano Fernández, C. (27 de Abril de 2013). *Qué es un KPI. Preguntas que debes hacerte antes de elegirlos*. Recuperado el Octubre de 2014, de Comenzando de cero: <http://comenzandodecero.com/que-es-un-kpi/>

Capacidad del procesos. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2014, de Ingeniería Industrial: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/capacidad-de-proceso/>

El concepto de calidad. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2014, de Técnica del Six sigma para la mejora de calidad: <http://www.uclm.es/profesorado/jmpascual/MANUAL%20DE%20TEORIA%20PROYECTOS%20EN%20INGENIERIA/T%2013%20LA%20CALIDAD/SIX%20SIGMA.pdf>

Espinoza F, F. (s.f.). *Análisis y mejoras de métodos de trabajo*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014, de Utalca: http://campuscurico.utalca.cl/~fespinos/16-ANALISIS_MEJORAS_METODOS_TRABAJO.pdf

Garcerant, I. (1 de Octubre de 2008). *Definimos retrabajo como...* Recuperado el Octubre de 2014, de Tecnología y Sinergix: <https://synergix.wordpress.com/page/2/>

Heitzer, J., & Render, B. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid, España: Fundación EOI.

- James, P. (2006). *Gestión de la Calidad Total. Un texto introductorio*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Laturga, M. (9 de Octubre de 2007). *Lean Sigma: Competitividad y reducción de tiempos*. Recuperado el Agosto de 2014, de Énfasis Logística:
<http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/7288->
- Reducción del tiempo de setup (SMED)*. (s.f.). Recuperado el Octubre de 2014, de Toyotaton: <https://sites.google.com/site/fabriqueeleanmanufacturer/concepto-de-sistemas-de-poduccion-toyota/reduccion-del-tiempo-de-set-up-s-m-e-d>
- Rudisill, F., & Druley, S. (Marzo de 2004). *¿Qué métrica de Seis Sigma debo utilizar?* Recuperado el Septiembre de 2014, de Quality Progress: <http://asq.org/quality-progress/2004/03/problem-solving/que-mtrica-de-seis-sigma-debo-utilizar.html>
- Ruiz-Falcó Rojas, A. (Marzo de 2009). *Introducción a 6 Sigma*. Madrid.
- Schroeder, R. G., Meyer Goldstein, S., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de Operaciones. Conceptos y casos contemporáneos*. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Sigma Ingeniería. (s.f.). *Cambios Rápidos de Set-up (S.M.E.D.)*. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de Sigma Ingeniería: <http://sigmaingenieria.com/Smed.htm>
- Universidad de Sonora*. (s.f.). Recuperado el Noviembre de 2014, de Metodología de la simulación: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7444/Capitulo4.pdf>
- Véliz Flores, J. L. (3 de Marzo de 200?). *Lean Six Sigma*. Recuperado el Agosto de 2014, de Gestión y Dirección de Proyectos. Construction Management:
<http://blog.pucp.edu.pe/item/20362/lean-six-sigma>
- Wyngaard, G. (Septiembre de 2012). *Módulo 4: Producción*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014, de Instituto Nacional de Tecnología Industrial:
<http://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2011/3161/M%C3%B3dulo%20%20-%20Producci%C3%B3n.pdf>

ANEXO I: Las siete herramientas básicas de la calidad

Tabla 36 Herramientas básicas de la calidad.

Herramienta	Definición
Diagrama de causa y efecto o de Ishikawa.	Es una técnica esquemática utilizada para identificar, clasificar y exponer las posibles causas de los problemas ya sea de calidad o no.
Hojas de Control.	Cualquier clase de formulario destinado a recopilar y registrar la información. Esta herramienta ayuda a responder las dudas planteadas e identificar hechos que puedan ayudar a análisis posteriores.
Histograma.	Esta herramienta muestra el rango de valores de una medida y la frecuencia con la que se presenta. Se utiliza para ordenar los datos que son utilizados en las mediciones para la resolución de problemas.
Diagrama de Pareto.	Gráfico que identifica y señala problemas o defectos, ordenándolos de forma descendente según su frecuencia de aparición (de izquierda a derecha). El diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice: "El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".
Diagrama de dispersión.	Representación gráfica que muestra la relación existente entre dos clases de datos, pudiendo observar la dependencia o influencia que tienen entre sí.
Gráficos de control.	Herramienta que se utiliza para medir si un proceso se encuentra dentro de los límites establecidos. Permite un control visual del proceso y suministra una base para generar la acción para resolver problemas encontrados.
Estratificación.	Esta herramienta clasifica la información recopilada sobre una característica de calidad. La información debe ser encasillada de acuerdo a patrones individuales en máquinas específicas y así sucesivamente. Los criterios efectivos para la estratificación son: <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de defecto. • Causa y efecto. • Localización del efecto. • Material, producto, fecha de producción, grupo de trabajo, operador, lote, etc.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Heitzer y Render, 2007).

ANEXO II: Herramientas de la mejora continua

Tabla 37 Herramientas de la mejora continua.

Herramienta	Definición
Análisis de Valor.	Es un método para diseñar o rediseñar un producto, de manera que cumpla con todos los requerimientos del cliente al mínimo costo. El análisis de valor ayuda tanto a disminuir los costos como a mejorar la calidad del producto. Sus principales objetivos son: Incrementar las utilidades, mejorar la calidad, aumentar la productividad, mejorar la rentabilidad, beneficiar la calidad de vida en el trabajo e innovación.
Método <i>Kaizen</i> .	Proviene de la filosofía japonesa que busca la mejora continua de todos los aspectos de la organización, incluyendo a las personas. El objetivo es mejorar para darle al cliente el mayor valor agregado. Este método se basa en siete sistemas: Justo a tiempo (JIT), TQM (gestión de calidad total), TPM (mantenimiento productivo total), círculos de control de calidad, sistema de sugerencias, despliegue de políticas, sistema de costos japonés.
Diagrama de afinidad.	Su finalidad es juntar ideas o asuntos para resumir las ideas afines a modo de comprender un problema y encontrar soluciones. Se utiliza cuando se está en presencia de problemas complejos, desorganizados y que requieren la participación de todo el equipo. Su utilización consiste en: 1) Definir el problema, 2) Reunir los datos, 3) Transferir los datos para obtener un solo significado evidente, 4) Unir los datos por afinidad o por temas, 5) Ponerle título a cada grupo de datos, 6) Dibujar el diagrama de afinidad y 7) Discutir con el equipo la conformación de los grupos y sus elementos.
Diagrama matricial	Es una representación gráfica de las relaciones existentes entre diferentes tipos de factores del producto y la intensidad de los mismos, esto se realiza en términos cualitativos.
<i>Six Sigma</i> .	Esta herramienta se basa en la reducción de variabilidad, para minimizar o eliminar defectos. Su objetivo es reducir los errores en los procesos. <i>Six Sigma</i> se basa en la metodología DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.
5S.	La herramienta 5S corresponde a los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen la herramienta y cuya fonética empieza por "S": <i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke</i> , que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.
Modelo <i>Kano</i>	Se enfoca en el desarrollo de productos y en la satisfacción del cliente. Éste método clasifica en cinco categorías los atributos del productos en cuanto a la respuesta que tienen en el cliente: <ul style="list-style-type: none"> • Calidad atractiva: estos atributos proporcionan satisfacción en el cliente, pero no causan insatisfacción si no se logran. • Calidad unidimensional: atributos que causan satisfacción cuando se cumplen e insatisfacción cuando no se cumple. • Calidad Requerida: atributos que el producto debe tener, es decir, no

	<p>provocan satisfacción en el cliente cuando se tienen, pero sí provocan insatisfacción cuando no se cumplen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calidad indiferente: son aspectos irrelevantes en el cliente, no resultan ni buenos ni malos. • Calidad inversa: aspectos que si se presentan en el producto dan como resultado la insatisfacción del cliente.
<i>Brenchmarking.</i>	Es el proceso mediante el cual se recopila información y se determina qué tan bien se desempeña una empresa o una unidad de ésta, comparándola con otras empresas o unidades.
<i>Lean Manufacturing.</i>	Es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios” (procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios). Lean analiza lo que no se debería realizar, desde el punto de vista de la agregación de valor al cliente con el fin de eliminarlo.
<i>Método Jidoka.</i>	<i>Jidoka</i> es una palabra japonesa que significa automatización con un toque humano o “autonomación” (no debe confundirse con automatización). El objetivo es que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de forma que si existe una anomalía durante el proceso este se detenga, ya sea automática o manualmente, impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso.
<i>.Heijunka</i>	<p>Esta herramienta representa la nivelación de la producción dentro de una fábrica, y su principal objetivo es hacer coincidir de forma eficiente la producción con la demanda del cliente.</p> <p>Se mide mediante el <i>Takt Time</i>, que es el ritmo al que el cliente está demandando y al cual se requiere producir con el fin de satisfacerlo.</p> $Takt\ Time = \frac{\text{Tiempo de producción disponible}}{\text{Cantidad total requerida}}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 36 <i>Takt Time</i></p> $Pitch = Takt\ Time \times \text{Cantidad de unidades en el lote}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 37 <i>Pitch</i></p> <p>Los productos no se fabrican de acuerdo al flujo real de pedidos, ya que éste es fluctuante, sino que se toma el total de los pedidos en un período de tiempo.</p>
<i>SMED Cambio rápido de útiles.</i>	Es una metodología que tiene como objetivo reducir los tiempos de preparación de máquina. Esto se logra mediante el estudio detallado del proceso, además de la incorporación de cambios radicales en las máquinas, herramientas e incluso en el propio producto, que disminuyan tiempos de preparación.
<i>AMEF</i>	El análisis de modos y efectos de fallas potenciales es un conjunto de herramientas que identifican las fallas potenciales de un proceso con el propósito de realizar planes de prevención, supervisión y respuesta.
<i>Poka Yoke</i>	<p>Es una técnica que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema, garantizando la seguridad de la maquinaria ante los usuarios y procesos y la calidad del producto final. Actualmente se tienen dos tipos de sistemas del <i>poka yoke</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de detección: sistema donde se identifican los errores del proceso a controlar. • Sistema de alarma: es de tipo visual y sonora. Ésta avisa al operador si

	se produce algún error para que lo solucione.
CMMI Mejora de procesos en industrias tecnológicas.	Herramienta que facilita el control del rendimiento de una organización en el área de tecnologías de información. Se intentan desarrollar KPI's (indicadores claves de desempeño) para la productividad, de manera que se mejora el proceso mediante los procesos de gestión y software. Los cinco niveles claves son: N1 realizado, N2 gestionado, N3 definido, N4 gestionado cuantitativamente y N5 optimizado.
Despliegue de la función de la calidad (QFD)	Método basado en transformar las necesidades del cliente en características técnicas del producto. Utiliza un método gráfico (matriz) en el que se expresan relaciones entre los requerimientos del cliente y las especificaciones del diseño.
Programa de Acciones Correctivas.	Para implantar un modelo de mejora continua de deben gestionar adecuadamente las no conformidades, no conformidades potenciales y las propuestas de mejora. Para esto se realiza un programa de acciones, basado en 12 principios, que permiten establecer un sistema para gestionar adecuadamente los incidentes presentados en la organización, de la siguiente forma: <ol style="list-style-type: none"> 1) No conformidad: Se deben controlar en busca de soluciones gracias a una corrección puntual y en el caso de evitar la reincidencia se deben estudiar las causas de la no conformidad y establecer las acciones correctivas pertinentes. 2) No conformidad potencial: Para este caso se analizan las causas para generar acciones preventivas que permitan evitar estas incidencias previas a su ocurrencia. 3) Propuesta de mejora: Este programa debe incluir acciones de mejora, que permitan la optimización y mejora de los procesos.
Método <i>Harada</i> .	Este método se fundamenta en la motivación del personal. Debido a las mejoras en tecnología y a la ineludible automatización es que las labores de un trabajador se vuelven repetitivas, lo que disminuye la calidad del proceso y del producto. De esta forma <i>Harada</i> propone convencer a los colaboradores que pueden realizar sus labores de la mejor forma consiguiendo la motivación y aprendizaje que se necesita, sin olvidar esto debe ser valorado, y llegar a un ideal autoliderazgo.
5 W + 1 H.	Es una herramienta de análisis que permite la identificación de factores y condiciones que provocan problemas en los procesos. Se realiza mediante las preguntas: Quién (<i>Who</i>), Qué (<i>What</i>), Dónde (<i>Where</i>), Cuándo (<i>When</i>), Por qué (<i>Why</i>) y Cómo (<i>How</i>).

Fuente: Elaboración propia a partir de (Schroeder, Meyer y Rungtusanatham, 2011).

ANEXO III: Conversión de fracción defectuosa a nivel Sigma.

Ilustración 28 Conversión de Fracciones Defectuosas a Nivel Sigma.

SIGMA	CENTRADA (CORTO PLAZO)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA LARGO PLAZO	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	Yield	Yield
2,0	45.500,124	308.770,206	0,954	0,691
2,1	35.728,715	274.412,211	0,964	0,726
2,2	27.806,798	242.071,409	0,972	0,758
2,3	21.448,162	211.927,706	0,979	0,788
2,4	16.395,058	184.108,207	0,984	0,816
2,5	12.419,360	158.686,946	0,988	0,841
2,6	9.322,444	135.686,770	0,991	0,864
2,7	6.934,046	115.083,086	0,993	0,885
2,8	5.110,381	96.809,096	0,995	0,903
2,9	3.731,760	80.762,128	0,996	0,919
3,0	2.699,934	66.810,630	0,997	0,933
3,1	1.935,342	54.801,404	0,998	0,945
3,2	1.374,404	44.566,734	0,999	0,955
3,3	966,965	35.931,060	0,999	0,964
3,4	673,962	28.716,973	0,999	0,971
3,5	465,347	22.750,349	1,000	0,977
3,6	318,291	17.864,528	1,000	0,982
3,7	215,660	13.903,499	1,000	0,986
3,8	144,745	10.724,139	1,000	0,989
3,9	96,231	8.197,562	1,000	0,992
4,0	63,372	6.209,699	1,000	0,994
4,1	41,337	4.661,233	1,000	0,995
4,2	26,708	3.467,029	1,000	0,997
4,3	17,092	2.555,194	1,000	0,997
4,4	10,834	1.865,882	1,000	0,998
4,5	6,802	1.349,968	1,000	0,999
4,6	4,229	967,672	1,000	0,999
4,7	2,605	687,202	1,000	0,999
4,8	1,589	483,483	1,000	1,000
4,9	0,960	336,981	1,000	1,000
5,0	0,574	232,673	1,000	1,000
5,1	0,340	159,146	1,000	1,000
5,2	0,200	107,830	1,000	1,000
5,3	0,116	72,372	1,000	1,000

SIGMA	CENTRADA (CORTO PLAZO)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA LARGO PLAZO	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	Yield	Yield
5,4	0,067	48,116	1,000	1,000
5,5	0,038	31,686	1,000	1,000
5,6	0,021	20,669	1,000	1,000
5,7	0,012	13,354	1,000	1,000
5,8	0,007	8,546	1,000	1,000
5,9	0,004	5,417	1,000	1,000
6,0	0,002	3,401	1,000	1,000

Fuente: Introducción a 6 Sigma, Arturo Ruiz-Falcó Rojas (2009).

ANEXO IV: Tablas de tiempo de agregación y preparación para cada orden, separados por área.

Simbología	
Corte y Dobra + Mecanizado	
Corte y Dobra + Perforado	
Mecanizado + Perforado	
Las tres áreas	
Solo un áreas	

Tabla 38 Tabla de datos para el área de Corte y Dobra.

Área: Corte y Dobra									
Código	Piezas	Operación	Máquina	Tiempo Valor	Tiempo Setup	Tiempo Ciclo	% Agregación de valor	% Tiempo de Setup	
300849	272	Corte	Sierra	1:08:00	0:23:11	1:31:11	74.58%	25.42%	
300856	16	Corte	Sierra	0:09:04	0:04:48	0:13:52	65.38%	34.62%	
301849	8	Corte	Sierra	0:01:20	0:01:00	0:02:20	57.14%	42.86%	
301890	4	Corte	Sierra	0:08:12	0:01:36	0:09:48	83.67%	16.33%	
306261	16	Corte	Laser	0:14:24	0:32:46	0:47:10	30.53%	69.47%	
306289	8	Corte	Plasma	0:02:32	0:13:37	0:16:09	15.69%	84.31%	
306383	16	Corte	Laser	0:11:28	0:33:23	0:44:51	25.57%	74.43%	
306408	4	Corte	Sierra	0:06:36	0:01:36	0:08:12	80.49%	19.51%	
306415	8	Corte	Chorro de Agua	0:33:44	0:02:21	0:36:05	93.49%	6.51%	
306421	16	Corte	Chorro de Agua	6:49:52	0:02:32	6:52:24	99.39%	0.61%	
306492	8	Corte	Chorro de Agua	0:54:48	0:03:29	0:58:17	94.02%	5.98%	
306493	8	Corte	Chorro de Agua	0:52:40	0:03:29	0:56:09	93.80%	6.20%	
306496	8	Corte	Chorro de Agua	1:26:24	0:02:13	1:28:37	97.50%	2.50%	

307941	8	Corte	Sierra	0:14:16	0:05:21	0:19:37	72.73%	27.27%
307975	64	Corte	Laser	7:19:28	1:03:40	8:23:08	87.35%	12.65%
313096	8	Corte	Sierra	0:15:04	0:03:28	0:18:32	81.29%	18.71%
313098	8	Corte	Sierra	0:10:24	0:02:35	0:12:59	80.10%	19.90%
313101	12	Corte	Sierra	0:20:00	0:03:23	0:23:23	85.53%	14.47%
313105	8	Corte	Laser	0:43:28	0:15:42	0:59:10	73.46%	26.54%
313107	136	Corte	Sierra	3:01:20	0:02:24	3:03:44	98.69%	1.31%
313109	8	Corte	Sierra	0:10:40	0:03:42	0:14:22	74.25%	25.75%
313110	8	Corte	Sierra	0:15:20	0:01:37	0:16:57	90.46%	9.54%
314293	8	Corte	Laser	0:15:52	0:33:23	0:49:15	32.22%	67.78%
314293	8	Doblado	Dobladora	0:08:00	0:16:00	0:24:00	33.33%	66.67%
314294	8	Corte	Sierra	0:08:16	0:05:11	0:13:27	61.46%	38.54%
315744	4	Corte	Chorro de Agua	2:36:36	0:03:35	2:40:11	97.76%	2.24%
319376	4	Corte	Sierra	0:05:48	0:04:25	0:10:13	56.77%	43.23%
320544	8	Corte	Laser	0:24:48	0:33:23	0:58:11	42.62%	57.38%
320544	8	Doblado	Dobladora	0:08:00	0:16:00	0:24:00	33.33%	66.67%
320545	8	Corte	Laser	0:24:48	0:33:23	0:58:11	42.62%	57.38%
320545	8	Doblado	Dobladora	0:08:00	0:16:00	0:24:00	33.33%	66.67%
320546	8	Corte	Laser	0:03:44	0:07:23	0:11:07	33.58%	66.42%
320547	8	Corte	Laser	0:19:28	0:09:46	0:29:14	66.59%	33.41%
320569	4	Corte	Laser	0:15:04	0:20:29	0:35:33	42.38%	57.62%
320623	4	Corte	Chorro de Agua	0:08:52	0:27:00	0:35:52	24.72%	75.28%
320624	4	Corte	Chorro de Agua	0:34:52	0:27:00	1:01:52	56.36%	43.64%
320628	8	Corte	Laser	0:18:56	0:04:14	0:23:10	81.73%	18.27%
320640	4	Corte	Laser	0:10:12	0:20:29	0:30:41	33.24%	66.76%
321299	8	Corte	Laser	0:14:00	0:04:14	0:18:14	76.78%	23.22%
323329	16	Corte	Sierra	0:09:52	0:04:14	0:14:06	69.98%	30.02%
323952	4	Corte	Laser	0:30:24	0:13:40	0:44:04	68.99%	31.01%
323965	4	Corte	Chorro de Agua	1:40:08	0:02:53	1:43:01	97.20%	2.80%

324000	8	Corte	Laser	0:04:16	0:07:56	0:12:12	34.97%	65.03%
324001	8	Corte	Laser	0:04:00	0:07:56	0:11:56	33.52%	66.48%
324003	4	Corte	Sierra	0:10:24	0:09:56	0:20:20	51.15%	48.85%
324660	4	Corte	Sierra	0:04:08	0:04:32	0:08:40	47.69%	52.31%
333396	8	Corte	Chorro de Agua	1:12:56	0:03:35	1:16:31	95.32%	4.68%
301563/10	32	Corte	Sierra	0:51:12	0:01:09	0:52:21	97.80%	2.20%
306406/1	32	Corte	Chorro de Agua	4:55:28	0:03:17	4:58:45	98.90%	1.10%
317739/1	12	Corte	Láser	0:29:24	0:04:46	0:34:10	86.05%	13.95%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartín.

Tabla 39 Tabla de datos para el área de Mecanizado.

Sector: Mecanizado									
Código	Piezas	Operación	Máquina	Tiempo Valor	Tiempo Setup	Tiempo Ciclo	% Agregación de valor	% Tiempo de Setup	
300849	272	Mecanizado	CNC	4:22:56	1:13:48	5:36:44	78.08%	21.92%	
300856	32	Mecanizado	CNC	1:38:40	1:01:48	2:40:28	61.49%	38.51%	
301849	8	Mecanizado	CNC	1:22:00	1:03:00	2:25:00	56.55%	43.45%	
301890	4	Mecanizado	CNC	1:00:16	1:33:36	2:33:52	39.17%	60.83%	
306408	4	Mecanizado	CNC	0:53:36	1:21:00	2:14:36	39.82%	60.18%	
306494	32	Mecanizado	CNC	0:26:40	1:02:24	1:29:04	29.94%	70.06%	
307941	8	Mecanizado	CNC	0:14:40	1:00:36	1:15:16	19.49%	80.51%	
313096	8	Mecanizado	CNC	0:37:12	0:13:48	0:51:00	72.94%	27.06%	
313098	8	Mecanizado	CNC	0:13:20	1:02:24	1:15:44	17.61%	82.39%	
313101	12	Mecanizado	CNC	0:58:24	0:12:36	1:11:00	82.25%	17.75%	
313105	8	Mecanizado	Torno Mecánico	1:08:08	1:11:31	2:19:39	48.79%	51.21%	
313107	136	Mecanizado	CNC	3:46:40	0:53:24	4:40:04	80.93%	19.07%	
313109	8	Mecanizado	CNC	0:36:16	0:59:24	1:35:40	37.91%	62.09%	
313110	8	Mecanizado	CNC	0:13:20	0:53:24	1:06:44	19.98%	80.02%	
319376	4	Mecanizado	CNC	0:17:24	1:15:00	1:32:24	18.83%	81.17%	
323952	4	Mecanizado	Torno Mecánico	1:03:56	0:18:31	1:22:27	77.54%	22.46%	
323965	4	Mecanizado	CNC	0:36:20	0:57:00	1:33:20	38.93%	61.07%	
301560/1	32	Mecanizado	cnc	0:57:04	0:53:24	1:50:28	51.66%	48.34%	
301560/4	32	Mecanizado	CNC	0:48:32	1:02:24	1:50:56	43.75%	56.25%	
301563/10	32	Mecanizado	CNC	0:31:28	0:57:36	1:29:04	35.33%	64.67%	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sammartin.

Tabla 40 Tabla de datos para el área de Perforado y fresado.

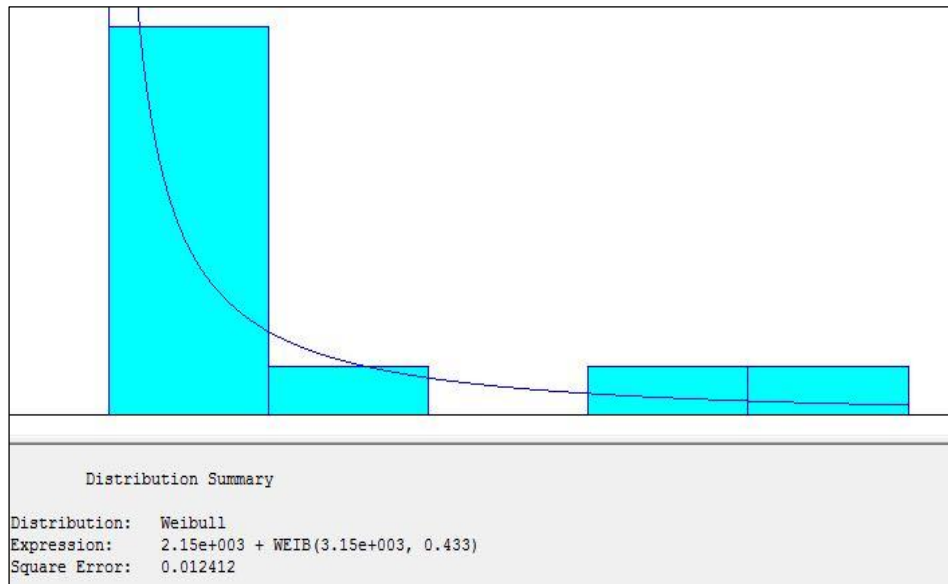
Área: Perforadora y fresado									
Código	Piezas	Operación	Máquina	Tiempo Valor	Tiempo Setup	Tiempo Ciclo	% Agregación de valor	% Tiempo de Setup	
301890	4	Fresar	Fresa	0:27:20	0:16:28	0:43:48	62.40%	37.60%	
306261	16	Escarrear	Perforadora	0:02:40	0:01:26	0:04:06	65.04%	34.96%	
306261	16	Roscar	Perforadora	0:05:04	0:01:26	0:06:30	77.95%	22.05%	
306289	8	Encuadrar	C. Mecanizado	1:02:32	0:20:50	1:23:22	75.01%	24.99%	
306289	8	Fresar	C. Mecanizado	1:25:28	1:44:08	3:09:36	45.08%	54.92%	
306383	16	Escarrear	Perforadora	0:07:28	0:04:40	0:12:08	61.54%	38.46%	
306383	16	Roscar	Perforadora	0:10:40	0:02:01	0:12:41	84.10%	15.90%	
306415	8	Encuadrar	C. Mecanizado	0:30:16	0:14:26	0:44:42	67.71%	32.29%	
306415	8	Fresar	C. Mecanizado	0:40:56	0:23:35	1:04:31	63.45%	36.55%	
306421	16	Encuadrar	C. Mecanizado	1:42:08	0:29:33	2:11:41	77.56%	22.44%	
306421	16	Fresar	C. Mecanizado	3:23:12	1:23:47	4:46:59	70.81%	29.19%	
306492	8	Fresar	Fresa	1:37:28	0:20:08	1:57:36	82.88%	17.12%	
306493	8	Fresar	Fresa	1:37:28	0:20:08	1:57:36	82.88%	17.12%	
306496	8	Encuadrar	C. Mecanizado	0:53:44	0:05:16	0:59:00	91.07%	8.93%	
306496	8	Fresar	C. Mecanizado	1:27:04	0:16:47	1:43:51	83.84%	16.16%	
307941	8	Fresar	C. Mecanizado	0:22:24	0:25:36	0:48:00	46.67%	53.33%	
313096	8	Fresar	Fresa	0:29:36	0:13:24	0:43:00	68.84%	31.16%	
315744	4	Escarrear	Perforadora	0:29:32	0:04:24	0:33:56	87.03%	12.97%	
319376	4	Fresar	Fresa	0:08:40	0:12:10	0:20:50	41.60%	58.40%	
320544	8	Escarrear	Perforadora	0:03:12	0:01:41	0:04:53	65.53%	34.47%	
320544	8	Roscar	Perforadora	0:06:32	0:00:53	0:07:25	88.09%	11.91%	
320545	8	Escarrear	Perforadora	0:03:12	0:01:41	0:04:53	65.53%	34.47%	
320545	8	Roscar	Perforadora	0:06:32	0:00:53	0:07:25	88.09%	11.91%	
320623	4	Escarrear	Perforadora	0:29:28	0:09:45	0:39:13	75.14%	24.86%	
320623	4	Fresar	C. Mecanizado	4:19:48	0:24:12	4:44:00	91.48%	8.52%	
320624	4	Escarrear	Perforadora	0:29:28	0:09:45	0:39:13	75.14%	24.86%	
320624	4	Fresar	C. Mecanizado	4:19:48	1:14:32	5:34:20	77.71%	22.29%	

320628	8	Escarrear	Perforadora	0:02:24	0:01:04	0:03:28	69.23%	30.77%
320628	8	Roscar	Perforadora	0:06:32	0:01:09	0:07:41	85.03%	14.97%
320628	8	Fresar	C. Mecanizado	0:42:32	0:19:21	1:01:53	68.73%	31.27%
321299	8	Escarrear	Perforadora	0:02:24	0:01:04	0:03:28	69.23%	30.77%
321299	8	Roscar	Perforadora	0:06:32	0:01:09	0:07:41	85.03%	14.97%
321299	8	Fresar	C. Mecanizado	0:42:32	0:19:21	1:01:53	68.73%	31.27%
323329	16	Escarrear	Perforadora	0:03:28	0:00:30	0:03:58	87.39%	12.61%
323329	16	Furar	Perforadora	0:22:08	0:02:08	0:24:16	91.21%	8.79%
323329	16	Roscar	Perforadora	0:17:52	0:02:48	0:20:40	86.45%	13.55%
323329	16	Trazar	Perforadora	0:13:36	0:06:34	0:20:10	67.44%	32.56%
324000	8	Escarrear	Perforadora	0:05:12	0:00:20	0:05:32	93.98%	6.02%
324000	8	Furar	Perforadora	0:10:48	0:03:50	0:14:38	73.80%	26.20%
324000	8	Trazar	Perforadora	0:16:08	0:03:52	0:20:00	80.67%	19.33%
324001	8	Furar	Perforadora	0:08:48	0:01:50	0:10:38	82.76%	17.24%
324001	8	Roscar	Perforadora	0:05:04	0:01:02	0:06:06	83.06%	16.94%
324001	8	Trazar	Perforadora	0:04:00	0:05:48	0:09:48	40.82%	59.18%
324003	4	Fresar	Fresa	0:13:40	0:09:06	0:22:46	60.03%	39.97%
324003	4	Furar	Fresa	0:12:12	0:11:55	0:24:07	50.59%	49.41%
324003	4	Trazar	Perforadora	0:06:52	0:05:45	0:12:37	54.43%	45.57%
324660	4	Escarrear	Perforadora	0:00:36	0:02:28	0:03:04	19.57%	80.43%
324660	4	Furar	Perforadora	0:04:00	0:02:52	0:06:52	58.25%	41.75%
324660	4	Trazar	Perforadora	0:06:24	0:05:21	0:11:45	54.47%	45.53%
333396	8	Encuadrar	C. Mecanizado	0:38:08	0:05:34	0:43:42	87.26%	12.74%
333396	8	Fresar	C. Mecanizado	0:54:32	2:42:00	3:36:32	25.18%	74.82%
306406/1	32	Fresar	Fresa	2:46:24	0:40:16	3:26:40	80.52%	19.48%
306406/1	32	Furar	Fresa	1:06:40	0:19:26	1:26:06	77.43%	22.57%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sammartín.

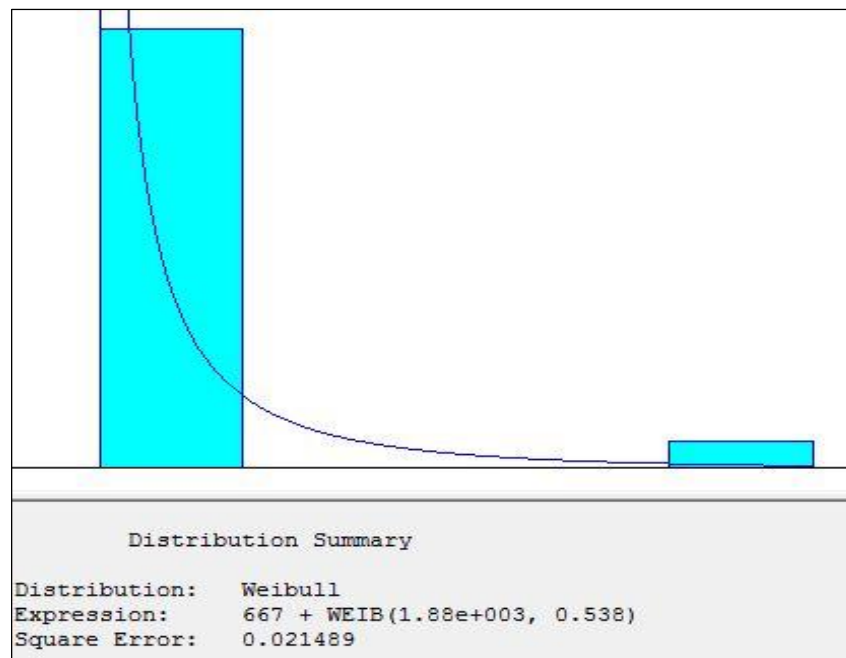
ANEXO V: Distribuciones de los datos de entrada

Ilustración 29 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Chorro de Agua.



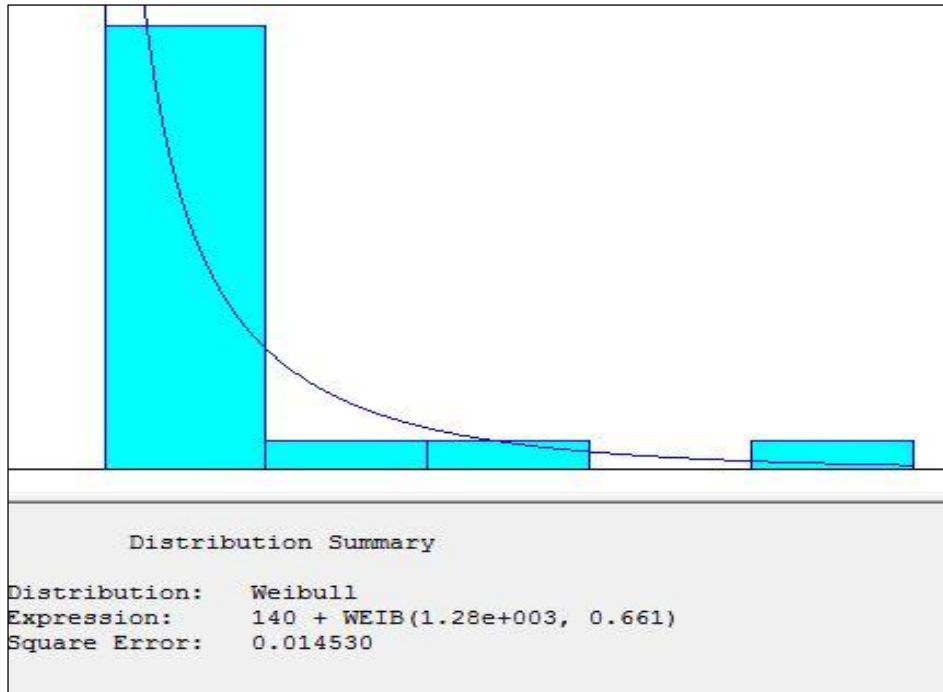
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 30 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Laser.



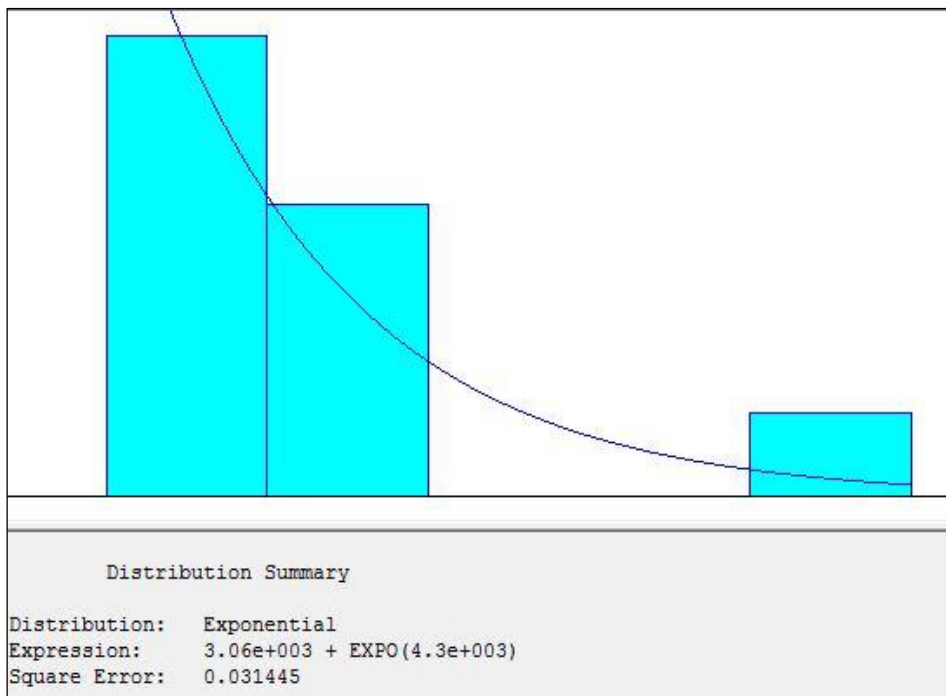
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 31 Distribución de probabilidad para el proceso de Corte con Sierra.



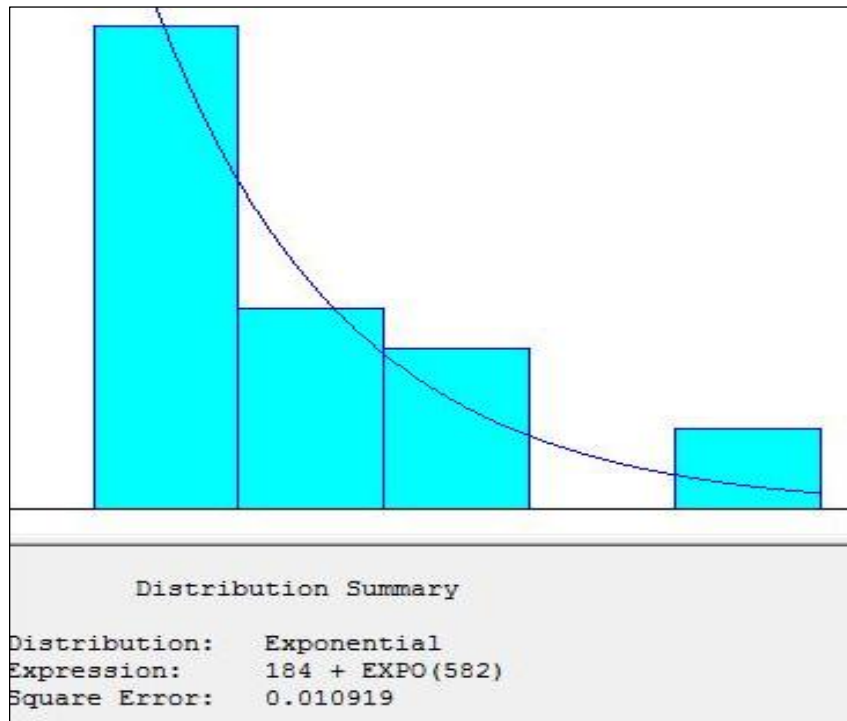
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 32 Distribución de probabilidad para el proceso de Mecanizado.



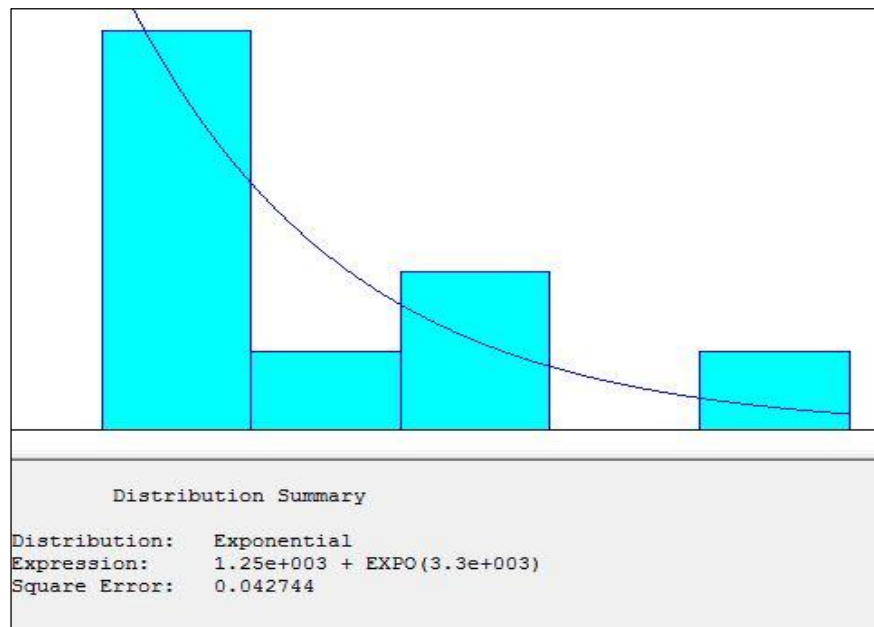
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 33 Distribución de probabilidad para el proceso de Perforadora.



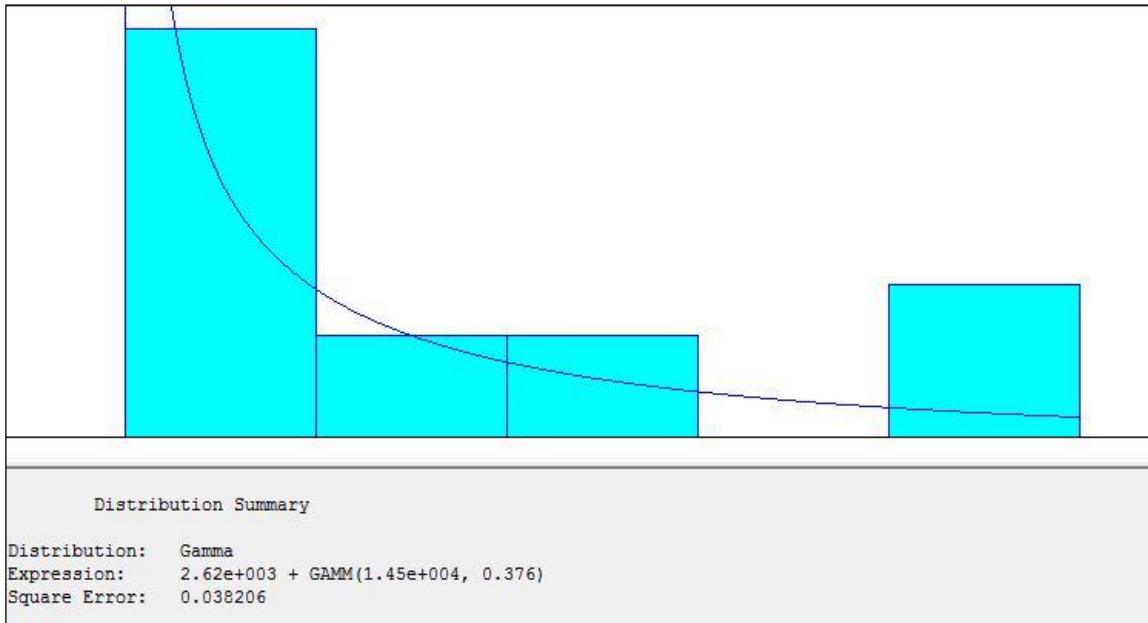
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 34 Distribución de probabilidad para el proceso de Fresado.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 35 Distribución de probabilidad para el proceso de Centro de Mecanizado.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

ANEXO VI: Tablas de tiempo de espera total para cada orden y separados por máquinas.

Tabla 41 Tabla de datos de los tiempos de espera total en el proceso para cada orden.

Tiempos de espera Total					
Código	Horas	Segundos			
300849	110,18	396.649	315744	227,24	818.078
300856	93,27	335.768	319376	415,11	1.494.379
301849	373,96	1.346.260	320544	238,41	858.274
301890	461,51	1.661.440	320545	239,01	860.452
306261	381,71	1.374.170	320546	0	0
306289	475,73	1.712.631	320547	0,19	667
306383	245,75	884.709	320569	0,67	2.421
306408	390,86	1.407.108	320623	67,40	242.648
306415	483,90	1.742.035	320624	361,36	1.300.881
306421	468,89	1.688.015	320628	451,50	1.625.411
306492	409,66	1.474.766	320640	1,27	4.554
306493	409,02	1.472.487	321299	452,80	1.630.089
306496	491,52	1.769.483	323329	382,44	1.376.790
307941	494,13	1.778.878	323952	43,02	154.872
307975	0	0	323965	374,70	1.348.919
313096	432,36	1.556.478	324000	245,63	884.258
313098	195,28	703.021	324001	246,30	886.684
313101	246,96	889.057	324003	203,45	732.423
313105	143,51	516.650	324660	382,60	1.377.372
313107	193,70	697.320	333396	486,74	1.752.260
313109	248,29	893.858	301563/10	347,63	1.251.459
313110	201,15	724.131	306406/1	343,52	1.236.675
314293	118,18	425.445	317739/1	7,93	28.550
314294	0	0	306494	0	0
			301560/1	0	0
			301560/4	1,84	6.628

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Tabla 42 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en el área de Mecanizado.

Torno CNC		
Código	Hora	Segundos
300849	110,18	396.649
300856	93,27	335.768
301849	373,96	1.346.260
301890	445,24	1.602.868
306408	390,86	1.407.108
307941	426,13	1.534.078
313096	245,35	883.278
313098	195,28	703.021
313101	246,96	889.057
313105	143,51	516.650
313107	193,70	697.320
313109	248,29	893.858
313110	201,15	724.131
319376	321,60	1.157.779
323952	43,02	154.872
323965	374,70	1.348.919
301563/10	347,63	1.251.459

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Tabla 43 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina perforadora.

Perforadora		
Código	Hora	Segundo
306261	381,71	1.374.170
306383	245,75	884.709
315744	227,24	818.078
320544	238,41	858.274
320545	239,01	860.452
320623	67,40	242.648
320624	361,36	1.300.881
320628	451,50	1.625.411
321299	452,80	1.630.089
323329	382,44	1.376.790
324000	245,63	884.258
324001	246,30	886.684
324003	203,45	732.423
324660	382,60	1.377.372

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Tabla 44 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina fresadora.

Fresadora		
Código	Hora	Segundo
301890	16,27	58.572
306492	409,66	1.474.766
306493	409,02	1.472.487
313096	187,00	673.200
319376	93,50	336.600
324003	203,45	732.423
306406/1	343,52	1.236.675

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

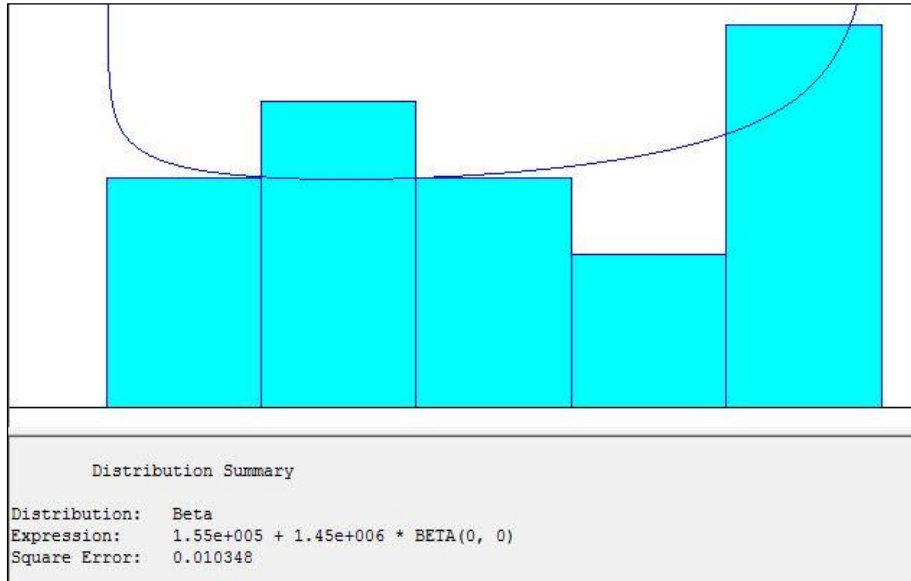
Tabla 45 Tabla de datos de los tiempos de espera de las órdenes para ser procesadas en la máquina centro de mecanizado.

Centro de Mecanizado		
Código	Hora	Segundo
306289	475,73	1.712.631
306415	483,90	1.742.035
306421	468,89	1.688.015
306496	491,52	1.769.483
307941	68,00	244.800
320623	67,40	242.648
320624	361,36	1.300.881
320628	451,50	1.625.411
321299	452,80	1.630.089
333396	486,74	1.752.260

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

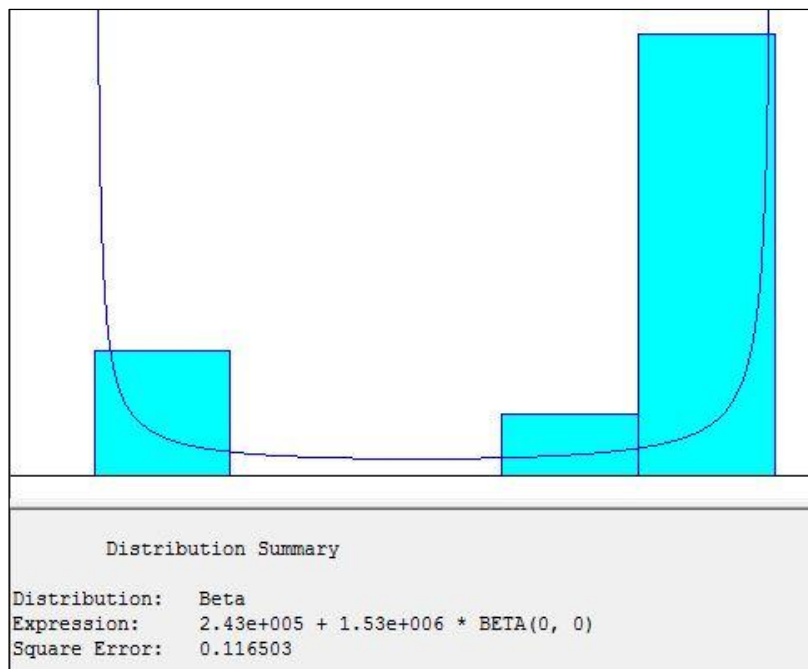
ANEXO VII: Distribución Tiempos de Espera

Ilustración 36 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera de Mecanizado.



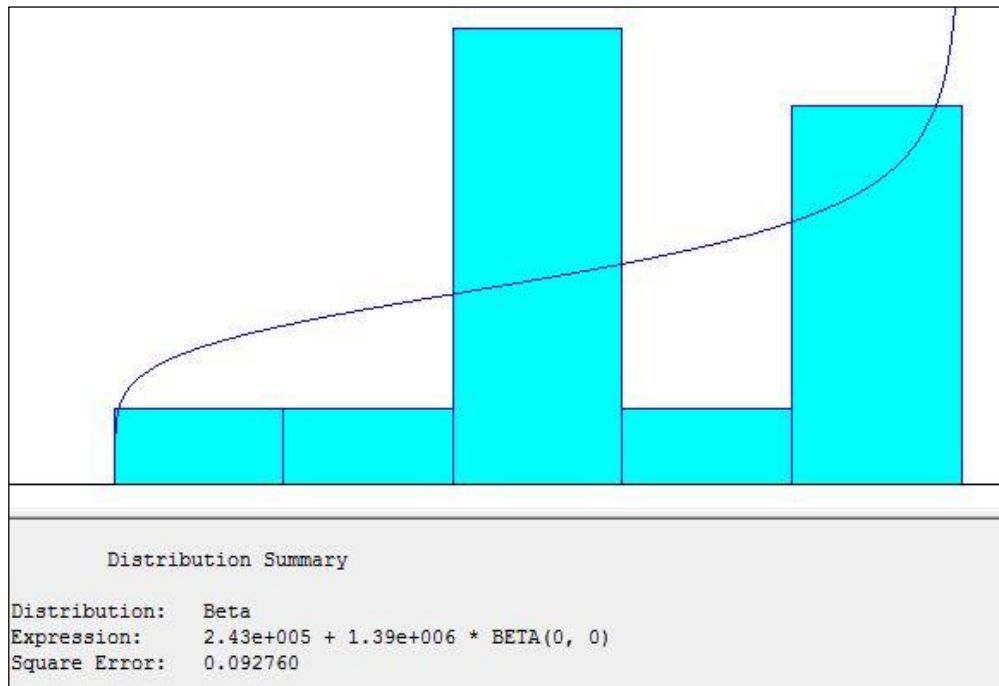
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 37 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera del Centro de Mecanizado.



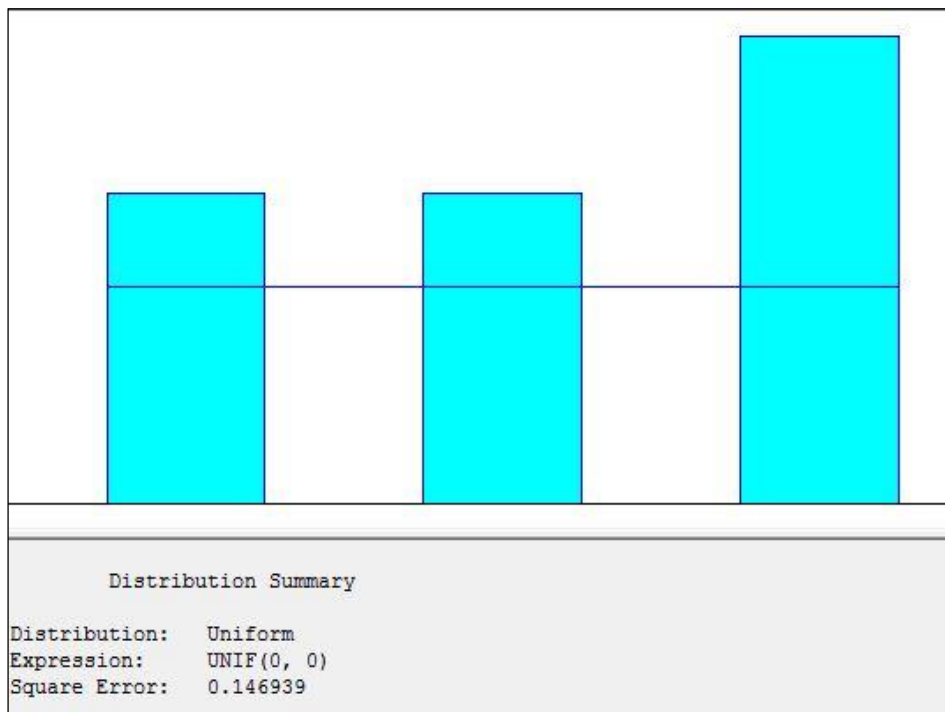
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 38 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera Perforadora.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

Ilustración 39 Distribución de probabilidad de los tiempos de espera Fresadora.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Máquinas Sanmartin.

ANEXO IX: Informe Arena Situación Actual

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Key Performance Indicators

System Average
Number Out 1

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

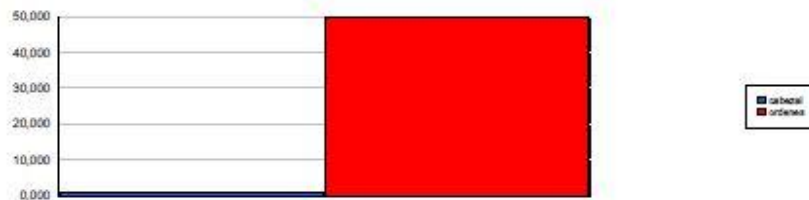
Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	36.9499	< 0,40	23.5554	61.9835	23.5554	61.9835
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	2721.00	< 57,45	1231.41	4192.68	1231.41	4192.68
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	1565.82	< 13,29	1140.65	2053.00	1140.65	2053.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabecal	89.5992	< 1,22	59.6614	118.40	59.6614	118.40

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
cabecal	1.0000	0,00	1.0000	1.0000
ordenes	50.0000	0,00	50.0000	50.0000



Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Entity**Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	1.0000	0,00	1.0000	1.0000		
ordenes	50.0000	0,00	50.0000	50.0000		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	0.03649861	< 0,00	0.02692227	0.05342805	0.00	1.0000
ordenes	50.0000	< 0,00	50.0000	50.0000	0.00	50.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	53.3554	< 1,14	23.6263	82.3319	0.00	114.00
Busqueda o reproceso.Queue	0.2561	< 0,02	0.00	1.4195	0.00	6.5578
Centro de mecanizado.Queue	0.01662300	< 0,01	0.00	0.6859	0.00	3.0022
Corte con chorro de agua.Queue	1.7263	< 0,13	0.00	14.6799	0.00	21.1375
Corte con laser.Queue	1.0166	< 0,04	0.1876	4.2800	0.00	6.5690
Corte con plasma.Queue	0.00592167	< 0,00	0.00	0.06411458	0.00	0.1682
Corte con sierra.Queue	0.5250	< 0,02	0.1146	1.3960	0.00	2.4215
Doblado.Queue	0.00041095	< 0,00	0.00	0.02588949	0.00	0.05210876
Fresa.Queue	0.00070915	< 0,00	0.00	0.03711123	0.00	0.2969
Mecanizado.Queue	0.01676223	< 0,00	0.00	0.2230	0.00	1.2371
Montaje.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perforadora.Queue	0.00020345	< 0,00	0.00	0.00821416	0.00	0.0904
Pintura.Queue	0.00018061	< 0,00	0.00	0.00174701	0.00	0.03774605

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	29.3630	< 0,28	18.1338	36.7611	0.00	50.0000
Busqueda o reproceso.Queue	0.05242906	< 0,00	0.00	0.3984	0.00	7.0000
Centro de mecanizado.Queue	0.00140521	< 0,00	0.00	0.06126045	0.00	4.0000
Corte con chorro de agua.Queue	0.2275	< 0,02	0.00	1.6659	0.00	18.0000
Corte con laser.Queue	0.2053	< 0,01	0.01842856	0.9489	0.00	25.0000
Corte con plasma.Queue	0.00018614	< 0,00	0.00	0.00473552	0.00	5.0000
Corte con sierra.Queue	0.1133	< 0,01	0.01809464	0.3993	0.00	29.0000
Doblado.Queue	0.00001552	< 0,00	0.00	0.00118251	0.00	2.0000
Fresa.Queue	0.00005816	< 0,00	0.00	0.00316401	0.00	1.0000
Mecanizado.Queue	0.00383041	< 0,00	0.00	0.03931298	0.00	3.0000
Montaje.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perforadora.Queue	0.00003913	< 0,00	0.00	0.00100286	0.00	2.0000
Pintura.Queue	0.00010399	< 0,00	0.00	0.00100501	0.00	2.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	0.01145021	< 0,00	0.00844596	0.01676125	0.00	1.0000
Maquina centro	0.01781942	< 0,00	0.00	0.0909	0.00	1.0000
Maquina chorro de agua	0.04292419	< 0,00	0.00445098	0.2185	0.00	1.0000
Maquina dobladora	0.00087996	< 0,00	0.00	0.00365586	0.00	1.0000
Maquina fresa	0.00952026	< 0,00	0.00071128	0.03700147	0.00	1.0000
Maquina laser	0.02511026	< 0,00	0.00442195	0.1198	0.00	1.0000
Maquina perforadora	0.00479316	< 0,00	0.00119783	0.01248492	0.00	1.0000
Maquina plasma	0.00040453	< 0,00	0.00	0.00232588	0.00	1.0000
maquina reproceso	0.2059	< 0,00	0.07712911	0.4242	0.00	1.0000
Operador centro	0.01781942	< 0,00	0.00	0.0909	0.00	1.0000
Operador chorro de agua	0.04292419	< 0,00	0.00445098	0.2185	0.00	1.0000
Operador CNC	0.05455023	< 0,00	0.01875768	0.1123	0.00	1.0000
Operador dobladora	0.00087996	< 0,00	0.00	0.00365586	0.00	1.0000
Operador fresa	0.00952026	< 0,00	0.00071128	0.03700147	0.00	1.0000
Operador laser	0.02511026	< 0,00	0.00442195	0.1198	0.00	1.0000
Operador perforadora	0.00479316	< 0,00	0.00119783	0.01248492	0.00	1.0000
Operador plasma	0.00040453	< 0,00	0.00	0.00232588	0.00	1.0000
operador reproceso	0.2059	< 0,00	0.07712911	0.4242	0.00	1.0000
Operador sierra	0.01269295	< 0,00	0.00267542	0.03608350	0.00	1.0000
Resource 1	0.04039061	< 0,00	0.02979311	0.05912533	0.00	1.0000
Resource 2	0.04039061	< 0,00	0.02979311	0.05912533	0.00	1.0000
Resource 3	0.00366407	< 0,00	0.00270271	0.00536360	0.00	1.0000
sierra	0.01269295	< 0,00	0.00267542	0.03608350	0.00	1.0000
Torno CNC	0.05455023	< 0,00	0.01875768	0.1123	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	0.01145021	< 0,00	0.00844596	0.01676125	0.00	1.0000
Maquina centro	0.01781942	< 0,00	0.00	0.0909	0.00	1.0000
Maquina chorro de agua	0.04292419	< 0,00	0.00445098	0.2185	0.00	1.0000
Maquina dobladora	0.00087996	< 0,00	0.00	0.00365586	0.00	1.0000
Maquina fresa	0.00952026	< 0,00	0.00071128	0.03700147	0.00	1.0000
Maquina laser	0.02511026	< 0,00	0.00442195	0.1198	0.00	1.0000
Maquina perforadora	0.00479316	< 0,00	0.00119783	0.01248492	0.00	1.0000
Maquina plasma	0.00040453	< 0,00	0.00	0.00232588	0.00	1.0000
maquina reproceso	0.2059	< 0,00	0.07712911	0.4242	0.00	1.0000
Operador centro	0.01781942	< 0,00	0.00	0.0909	0.00	1.0000
Operador chorro de agua	0.04292419	< 0,00	0.00445098	0.2185	0.00	1.0000
Operador CNC	0.05455023	< 0,00	0.01875768	0.1123	0.00	1.0000
Operador dobladora	0.00087996	< 0,00	0.00	0.00365586	0.00	1.0000
Operador fresa	0.00952026	< 0,00	0.00071128	0.03700147	0.00	1.0000
Operador laser	0.02511026	< 0,00	0.00442195	0.1198	0.00	1.0000
Operador perforadora	0.00479316	< 0,00	0.00119783	0.01248492	0.00	1.0000
Operador plasma	0.00040453	< 0,00	0.00	0.00232588	0.00	1.0000
operador reproceso	0.2059	< 0,00	0.07712911	0.4242	0.00	1.0000
Operador sierra	0.01269295	< 0,00	0.00267542	0.03608350	0.00	1.0000
Resource 1	0.04039061	< 0,00	0.02979311	0.05912533	0.00	1.0000
Resource 2	0.04039061	< 0,00	0.02979311	0.05912533	0.00	1.0000
Resource 3	0.00366407	< 0,00	0.00270271	0.00536360	0.00	1.0000
sierra	0.01269295	< 0,00	0.00267542	0.03608350	0.00	1.0000
Torno CNC	0.05455023	< 0,00	0.01875768	0.1123	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina centro	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina chorro de agua	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina dobladora	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina fresa	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina laser	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina perforadora	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina plasma	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
maquina reproceso	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador centro	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador chorro de agua	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador CNC	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador dobladora	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador fresa	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador laser	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador perforadora	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador plasma	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
operador reproceso	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador sierra	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 1	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 2	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 3	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
sierra	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Torno CNC	1.0000	- 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

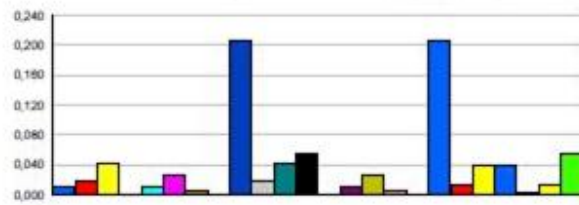
Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Línea de pintura	0.01145021	0,00	0.00844596	0.01676125
Maquina centro	0.01781942	0,00	0.00	0.0909
Maquina chorro de agua	0.04292419	0,00	0.00445098	0.2185
Maquina dobladora	0.00087996	0,00	0.00	0.00365586
Maquina fresa	0.00952026	0,00	0.00071128	0.03700147
Maquina laser	0.02511026	0,00	0.00442195	0.1198
Maquina perforadora	0.00479316	0,00	0.00119783	0.01248492
Maquina plasma	0.00040453	0,00	0.00	0.00232588
maquina reproceso	0.2059	0,00	0.07712911	0.4242
Operador centro	0.01781942	0,00	0.00	0.0909
Operador chorro de agua	0.04292419	0,00	0.00445098	0.2185
Operador CNC	0.05455023	0,00	0.01875768	0.1123
Operador dobladora	0.00087996	0,00	0.00	0.00365586
Operador fresa	0.00952026	0,00	0.00071128	0.03700147
Operador laser	0.02511026	0,00	0.00442195	0.1198
Operador perforadora	0.00479316	0,00	0.00119783	0.01248492
Operador plasma	0.00040453	0,00	0.00	0.00232588
operador reproceso	0.2059	0,00	0.07712911	0.4242
Operador sierra	0.01269295	0,00	0.00267542	0.03608350
Resource 1	0.04039061	0,00	0.02979311	0.05912533
Resource 2	0.04039061	0,00	0.02979311	0.05912533
Resource 3	0.00366407	0,00	0.00270271	0.00536360
sierra	0.01269295	0,00	0.00267542	0.03608350
Torno CNC	0.05455023	0,00	0.01875768	0.1123



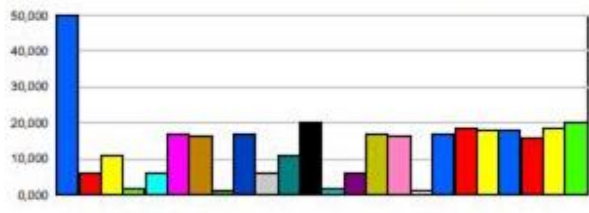
Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Linea de pintura	50.0000	0,00	50.0000	50.0000
Maquina centro	5.8200	0,21	0.00	13.0000
Maquina chorro de agua	10.9660	0,26	1.0000	19.0000
Maquina dobladora	1.5320	0,11	0.00	7.0000
Maquina fresa	5.7400	0,21	1.0000	14.0000
Maquina laser	16.8120	0,28	8.0000	26.0000
Maquina perforadora	16.4720	0,29	8.0000	26.0000
Maquina plasma	1.0380	0,08	0.00	6.0000
maquina reproceso	16.8740	0,29	7.0000	26.0000
Operador centro	5.8200	0,21	0.00	13.0000
Operador chorro de agua	10.9660	0,26	1.0000	19.0000
Operador CNC	19.9440	0,29	10.0000	29.0000
Operador dobladora	1.5320	0,11	0.00	7.0000
Operador fresa	5.7400	0,21	1.0000	14.0000
Operador laser	16.8120	0,28	8.0000	26.0000
Operador perforadora	16.4720	0,29	8.0000	26.0000
Operador plasma	1.0380	0,08	0.00	6.0000
operador reproceso	16.8740	0,29	7.0000	26.0000
Operador sierra	18.2520	0,30	9.0000	30.0000
Resource 1	18.0000	0,00	18.0000	18.0000
Resource 2	18.0000	0,00	18.0000	18.0000
Resource 3	16.0000	0,00	16.0000	16.0000
sierra	18.2520	0,30	9.0000	30.0000
Tomo CNC	19.9440	0,29	10.0000	29.0000



Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

User Specified

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo de paso	89.5992	< 1,22	59.6614	118.40	59.6614	118.40

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Numero de defectos	16.8740	< 0,29	7.0000	26.0000



ANEXO X: Informe Arena Propuesta de Mejora

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

1

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	17.5799	< 0,30	11.2979	35.6830	11.2979	35.6830
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	0.7750	< 0,01	0.3747	1.2917	0.3747	1.2917
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	739.15	< 10,23	291.33	1362.47	291.33	1362.47
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	475.93	< 3,13	340.02	620.03	340.02	620.03
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cabezal	27.7925	< 0,21	17.4841	41.5047	17.4841	41.5047

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
cabezal	1.0000	0,00	1.0000	1.0000
ordenes	50.0000	0,00	50.0000	50.0000



Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Entity

Other

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
	cabezal	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	
ordenes	50.0000	0,00	50.0000	50.0000		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
	cabezal	0.1155	< 0,00	0.07680074	0.1823	0.00
ordenes	50.0000	< 0,00	50.0000	50.0000	0.00	50.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	13.3606	< 0,18	4.6064	24.6749	0.00	38.2404
Centro de mecanizado.Queue	0.0953	< 0,02	0.00	1.5819	0.00	4.8445
Corte con chorro de agua.Queue	1.7808	< 0,12	0.1378	10.7293	0.00	17.6949
Corte con laser.Queue	0.9812	< 0,04	0.2315	3.1018	0.00	5.6209
Corte con plasma.Queue	0.00595531	< 0,00	0.00	0.06729167	0.00	0.1346
Corte con sierra.Queue	0.5068	< 0,02	0.0996	1.3363	0.00	2.5179
Doblado.Queue	0.00045417	< 0,00	0.00	0.02770751	0.00	0.05510775
Fresa.Queue	0.01345086	< 0,00	0.00	0.2398	0.00	0.6316
Montaje.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perforadora.Queue	0.00701846	< 0,00	0.00	0.07783799	0.00	0.2279
Pintura.Queue	0.00199292	< 0,00	0.00	0.01068827	0.00	0.07047726
Seize Mecanizado.Queue	1.0842	< 0,08	0.01783951	4.7703	0.00	8.0758

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	23.9339	< 0,17	13.1732	31.9232	0.00	50.0000
Busqueda o reproceso.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Centro de mecanizado.Queue	0.02403086	< 0,00	0.00	0.3971	0.00	5.0000
Corte con chorro de agua.Queue	0.7331	< 0,05	0.01935902	5.0303	0.00	20.0000
Corte con laser.Queue	0.6162	< 0,03	0.07502829	2.9259	0.00	26.0000
Corte con plasma.Queue	0.00056359	< 0,00	0.00	0.01361583	0.00	4.0000
Corte con sierra.Queue	0.3487	< 0,02	0.03385368	1.7579	0.00	28.0000
Doblado.Queue	0.00004986	< 0,00	0.00	0.00331060	0.00	2.0000
Fresa.Queue	0.00320126	< 0,00	0.00	0.07787212	0.00	3.0000
Montaje.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Perforadora.Queue	0.00443721	< 0,00	0.00	0.04805303	0.00	6.0000
Pintura.Queue	0.00366106	< 0,00	0.00	0.02089066	0.00	4.0000
Seize Mecanizado.Queue	0.7923	< 0,06	0.01038620	3.7080	0.00	21.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Usage					
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	0.03623583	< 0,00	0.02409364	0.05719481	0.00	1.0000
Maquina centro	0.05496810	< 0,00	0.00512790	0.2635	0.00	1.0000
Maquina chorro de agua	0.1383	< 0,01	0.01220358	0.5380	0.00	1.0000
Maquina dobladora	0.00292783	< 0,00	0.00	0.01138932	0.00	1.0000
Maquina fresa	0.02970893	< 0,00	0.00	0.07949743	0.00	1.0000
Maquina laser	0.07616055	< 0,00	0.01901379	0.2080	0.00	1.0000
Maquina perforadora	0.01499821	< 0,00	0.00601941	0.03440377	0.00	1.0000
Maquina plasma	0.00125207	< 0,00	0.00	0.00680791	0.00	1.0000
maquina reproceso	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Operador centro	0.05496810	< 0,00	0.00512790	0.2635	0.00	1.0000
Operador chorro de agua	0.1383	< 0,01	0.01220358	0.5380	0.00	1.0000
Operador dobladora	0.00292783	< 0,00	0.00	0.01138932	0.00	1.0000
Operador fresa	0.02970893	< 0,00	0.00	0.07949743	0.00	1.0000
Operador laser	0.07616055	< 0,00	0.01901379	0.2080	0.00	1.0000
Operador Mecanizado	0.1485	< 0,00	0.05130263	0.3248	0.00	1.0000
Operador perforadora	0.01499821	< 0,00	0.00601941	0.03440377	0.00	1.0000
Operador plasma	0.00125207	< 0,00	0.00	0.00680791	0.00	1.0000
operador reproceso	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Operador sierra	0.03966310	< 0,00	0.00797022	0.1408	0.00	1.0000
Resource 1	0.1278	< 0,00	0.08499033	0.2018	0.00	1.0000
Resource 2	0.1278	< 0,00	0.08499033	0.2018	0.00	1.0000
Resource 3	0.01159547	< 0,00	0.00770997	0.01830234	0.00	1.0000
sierra	0.03966310	< 0,00	0.00797022	0.1408	0.00	1.0000
Tomo CNC	0.1485	< 0,00	0.05130263	0.3248	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Number Busy	Usage					
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	0.03623583	< 0,00	0.02409364	0.05719481	0.00	1.0000
Maquina centro	0.05496810	< 0,00	0.00512790	0.2635	0.00	1.0000
Maquina chorro de agua	0.1383	< 0,01	0.01220358	0.5380	0.00	1.0000
Maquina dobladora	0.00292783	< 0,00	0.00	0.01138932	0.00	1.0000
Maquina fresa	0.02970893	< 0,00	0.00	0.07949743	0.00	1.0000
Maquina laser	0.07616055	< 0,00	0.01901379	0.2080	0.00	1.0000
Maquina perforadora	0.01499821	< 0,00	0.00601941	0.03440377	0.00	1.0000
Maquina plasma	0.00125207	< 0,00	0.00	0.00680791	0.00	1.0000
maquina reproceso	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Operador centro	0.05496810	< 0,00	0.00512790	0.2635	0.00	1.0000
Operador chorro de agua	0.1383	< 0,01	0.01220358	0.5380	0.00	1.0000
Operador dobladora	0.00292783	< 0,00	0.00	0.01138932	0.00	1.0000
Operador fresa	0.02970893	< 0,00	0.00	0.07949743	0.00	1.0000
Operador laser	0.07616055	< 0,00	0.01901379	0.2080	0.00	1.0000
Operador Mecanizado	0.1485	< 0,00	0.05130263	0.3248	0.00	1.0000
Operador perforadora	0.01499821	< 0,00	0.00601941	0.03440377	0.00	1.0000
Operador plasma	0.00125207	< 0,00	0.00	0.00680791	0.00	1.0000
operador reproceso	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Operador sierra	0.03966310	< 0,00	0.00797022	0.1408	0.00	1.0000
Resource 1	0.1278	< 0,00	0.08499033	0.2018	0.00	1.0000
Resource 2	0.1278	< 0,00	0.08499033	0.2018	0.00	1.0000
Resource 3	0.01159547	< 0,00	0.00770997	0.01830234	0.00	1.0000
sierra	0.03966310	< 0,00	0.00797022	0.1408	0.00	1.0000
Tomo CNC	0.1485	< 0,00	0.05130263	0.3248	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Linea de pintura	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina centro	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina chorro de agua	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina dobladora	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina fresa	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina laser	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina perforadora	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina plasma	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
maquina reproceso	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador centro	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador chorro de agua	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador dobladora	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador fresa	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador laser	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador Mecanizado	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador perforadora	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador plasma	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
operador reproceso	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Operador sierra	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 1	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 2	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Resource 3	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
sierra	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Tomo CNC	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

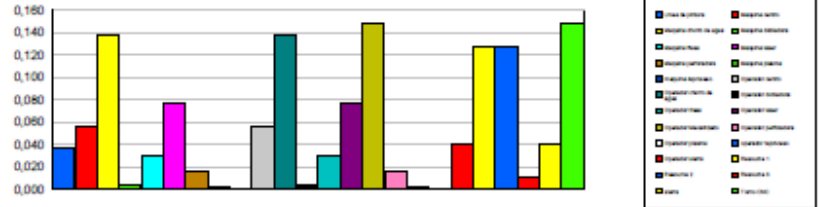
Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Linea de pintura	0.03623583	0,00	0.02409364	0.05719481
Maquina centro	0.05496810	0,00	0.00512790	0.2635
Maquina chorro de agua	0.1383	0,01	0.01220358	0.5380
Maquina dobladora	0.00292783	0,00	0.00	0.01138932
Maquina fresa	0.02970893	0,00	0.00	0.07949743
Maquina laser	0.07616055	0,00	0.01901379	0.2080
Maquina perforadora	0.01499821	0,00	0.00601941	0.03440377
Maquina plasma	0.00125207	0,00	0.00	0.00680791
maquina reproceso	0.00	0,00	0.00	0.00
Operador centro	0.05496810	0,00	0.00512790	0.2635
Operador chorro de agua	0.1383	0,01	0.01220358	0.5380
Operador dobladora	0.00292783	0,00	0.00	0.01138932
Operador fresa	0.02970893	0,00	0.00	0.07949743
Operador laser	0.07616055	0,00	0.01901379	0.2080
Operador Mecanizado	0.1485	0,00	0.05130263	0.3248
Operador perforadora	0.01499821	0,00	0.00601941	0.03440377
Operador plasma	0.00125207	0,00	0.00	0.00680791
operador reproceso	0.00	0,00	0.00	0.00
Operador sierra	0.03966310	0,00	0.00797022	0.1408
Resource 1	0.1278	0,00	0.08499033	0.2018
Resource 2	0.1278	0,00	0.08499033	0.2018
Resource 3	0.01159547	0,00	0.00770997	0.01830234
sierra	0.03966310	0,00	0.00797022	0.1408
Tomo CNC	0.1485	0,00	0.05130263	0.3248



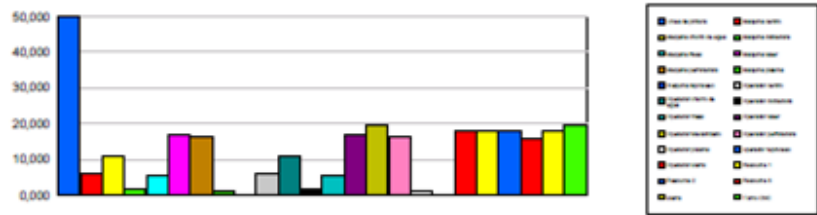
Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Linea de pintura	50.0000	0,00	50.0000	50.0000
Maquina centro	5.7860	0,20	1.0000	14.0000
Maquina chorro de agua	11.0560	0,25	2.0000	21.0000
Maquina dobladora	1.6220	0,11	0.00	6.0000
Maquina fresa	5.5780	0,20	0.00	15.0000
Maquina laser	16.7400	0,27	9.0000	27.0000
Maquina perforadora	16.5280	0,29	7.0000	26.0000
Maquina plasma	1.0240	0,08	0.00	5.0000
maquina reproceso	0.00	0,00	0.00	0.00
Operador centro	5.7860	0,20	1.0000	14.0000
Operador chorro de agua	11.0560	0,25	2.0000	21.0000
Operador dobladora	1.6220	0,11	0.00	6.0000
Operador fresa	5.5780	0,20	0.00	15.0000
Operador laser	16.7400	0,27	9.0000	27.0000
Operador Mecanizado	19.6980	0,31	9.0000	31.0000
Operador perforadora	16.5280	0,29	7.0000	26.0000
Operador plasma	1.0240	0,08	0.00	5.0000
operador reproceso	0.00	0,00	0.00	0.00
Operador sierra	18.2520	0,29	9.0000	29.0000
Resource 1	18.0000	0,00	18.0000	18.0000
Resource 2	18.0000	0,00	18.0000	18.0000
Resource 3	16.0000	0,00	16.0000	16.0000
sierra	18.2520	0,29	9.0000	29.0000
Tomo CNC	19.6980	0,31	9.0000	31.0000



Unnamed Project

Replications: 720 Time Units: Days

User Specified

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo de paso	27.7925	< 0,21	17.4841	41.5047	17.4841	41.5047

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Numero de defectos	0.00	< 0,00	0.00	0.00